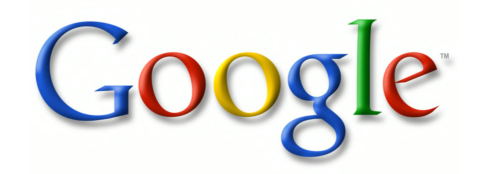






Elemente der Physik.

Die Elemente der Physik

von

C. Cabart,
Repetent an der polytechnischen Schule in Paris.

Deutsch bearbeitet

zum Gebrauche bei Vorlesungen an Universitäten, polytechnischen und Gewerbschulen, Real- und Militairschulen, sowie zum Selbstunterrichte als Vorbereitung fürs Examen für angehende Mediziner ꝛc.

Mit über 200 in den Text gedruckten Abbildungen.

Leipzig
Verlag von Ambr: Abel.
1852



Inhalt.

Erstes Kapitel.

Einleitung.

1. Materie. — 2. Physikalische Agentien. — 3. Zweck der Physik. — 4. Eintheilung der Physik. — 5. Ausdehnung, Undurchdringlichkeit. — 6. Messen der Ausdehnung. 7. Messen der Länge. — 8. Nonius. — 9. Messen der Winkel; Transporteur. — 10. Zirkel. — 11. Graphometer; Kreis. — 12. Mikrometerschraube. — 13. Kathetometer. — 14. Zirkel, um die Dicke eines Körpers zu messen. — 15. Theilbarkeit der Materie. — 16. Moleküle, Atome. — 17. Porosität.

1. Materie. Einen in bestimmte Grenzen eingeschlossenen Theil des ganzen unendlichen Raumes nennt man Körper; was den Raum des Körpers erfüllt, wird Materie oder Stoff genannt. Wesentliche Eigenschaften der Materie sind Ausdehnung, Undurchdringlichkeit und Trägheit. Durch diese Eigenschaften erlangen wir eine Vorstellung von der Materie, durch dieselben unterscheiden wir sie von dem unbegrenzten Raum.

Außer diesen Eigenschaften haben die Körper noch einige Eigenschaften mit einander gemein, welche man allgemeine Eigenschaften der Körper nennt. Es sind dies: Theilbarkeit, Porosität, Elasticität und Beweglichkeit.

2. Physikalische Agentien. Die physikalischen Ursachen, welche Veränderungen der Materie hervorbringen, sind uns ihrer Natur nach völlig unbekannt; wir nehmen sie nur durch ihre Wirkungen wahr. Je nach den letzteren giebt man diesen Ursachen auch Benennungen, in denen die hauptsächlichste Wirkung angedeutet ist.

Die Anziehung, die Schwere, die Wärme, die Elektricität und das Licht sind Kräfte, welche wir als die Ursachen der Erscheinungen in der anorganischen Welt betrachten.

3. Zweck der Physik. Die Physik hat das Studium der Erscheinungen in der anorganischen Natur, bei welcher die Körper in ihrer Zusammensetzung keine Veränderung erleiden, zum Zweck.

4. Eintheilung der Physik. Je nach den Ursachen theilt man die Erscheinungen in verschiedene Klassen. Man pflegt zuerst die allgemeinen Eigenschaften der Körper zu betrachten, darauf überzugehen zu den Erscheinungen der Schwere, der wägbaren Körper in allen drei Zuständen, nämlich im festen, flüssigen und gas-

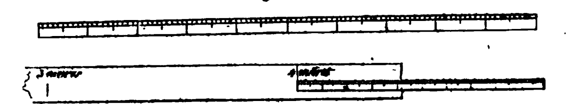
förmigen Zustande, den Erscheinungen der Wärme und des Lichtes, der Elektricität und des Magnetismus, als der doppelten Aeußerung einer und derselben Ursache, und mit den Erscheinungen der Akustik zu schließen, welche im innigen Zusammenhange mit den Elasticitätsveränderungen stehen, die durch mechanische Ursachen in den wägbaren Stoffen hervorgebracht werden.

5. **Ausdehnung, Undurchdringlichkeit.** Ein materieller Körper nimmt in dem unendlichen Raume einen bestimmten Platz ein; er besitzt Ausdehnung. Da wo sich ein Körper befindet, kann kein anderer sein. Jeder Körper ist undurchdringlich. Das Gesicht und der Tastsinn geben uns meist eine Vorstellung von der Ausdehnung und der Undurchdringlichkeit, oft aber reichen diese beiden Sinne nicht aus und der Verstand muß, auf Beobachtungen von Thatsachen gestützt, ihnen zu Hilfe kommen.

6. **Messen der Ausdehnung.** Die Ausdehnung ist Gegenstand einer besondern Wissenschaft. Die Geometrie betrachtet die Ausdehnung in verschiedenen, durch dieselbe bewirkten regelmäßigen Figuren; diese Wissenschaft ist zu einfachen Beziehungen gelangt, aus denen sich der numerische Werth der Ausdehnung ableiten läßt. Das Element dieser Bestimmung, das Längenmaß, aber gehört der Physik an.

7. **Messen der Länge.** Die Messung einer gradlinigen Länge wird mit Hilfe eines in Millimeter getheilten Maßstabes ausgeführt (Fig. 1).

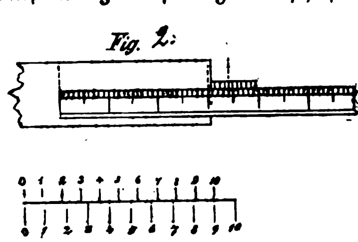
Fig. 1.



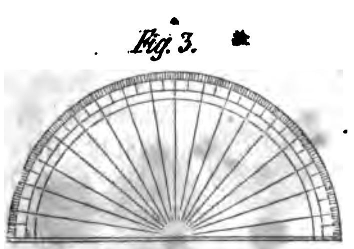
8. **Nonius oder Vernier.** In Fällen, in denen eine approximative Bestimmung der Länge nicht ausreichend ist, benutzt man den Nonius und die Mikrometerschraube.

Der Nonius besteht in einem zweiten kürzeren Maßstabe, der sich längs des andern größern Maßstabes verschieben läßt und in kleinere Unterabtheilungen als der größere Maßstab eingetheilt ist, die sich von den Abtheilungen auf dem größeren Maßstabe gewöhnlich durch einen aliquoten Theil unterscheiden. Gesetzt der Unterschied betrüge $\frac{1}{10}$, so würde eine jede der Abtheilungen dieses Maßstabes $\frac{9}{10}$ Millimeter sein, wenn die Hauptabtheilungen Millimeter sind. Wenn also der Theilstrich 0 des Nonius mit dem Theilstrich N des Maßstabes zusammenfällt, so wird der Theilstrich 1 des Nonius

um $\frac{1}{10}$ Millimeter hinter dem Theilstrich N + 1 des Maßstabes, der Theilstrich 2 um $\frac{2}{10}$ Millimeter des Theilstriches N + 2 des Maßstabes zurück sein. Allgemein gesagt, wird der Theilstrich p des Nonius um $\frac{p}{10}$ Millimeter hinter dem Theilstrich N + p des Maßstabes zurück sein. Wird der Maßstab mit dem Nonius an eine zu messende Linie so angelegt, daß der Anfangspunkt des Maßstabes mit dem einen Grenzpunkte, und der eine der beiden äußersten Theilstriche des Nonius mit dem andern Grenzpunkte dieser Linie zusammenfällt, so braucht man nur zu beobachten, welcher Theilstrich des Nonius mit einem Theilstriche des Maßstabes so nahe zusammenfällt, daß sich der eine als die Verlängerung des andern betrachten läßt. Da die Entfernung dieses gemeinschaftlichen Theilstriches von jedem der äußersten Theilstriche des Nonius und vom Anfangspunkte des Maßstabes bekannt ist, so läßt sich hier aus die Länge der zu messenden Linie leicht ableiten. Vermittelst des Nonius (Fig. 2) lassen sich bequem Bruchtheile der Abtheilungen des größeren Maßstabes, bis ungefähr zu $\frac{1}{10}$ Millimeter messen. Wenn man mit dem Maßstabe einen Nonius verbindet, auf welchem 20, 30 und 40 Abtheilungen 19, 29 und 39 Abtheilungen des Maßstabes entsprechen, so kann man noch $\frac{1}{20}$, $\frac{1}{30}$, $\frac{1}{40}$ Millimeter messen.


Fig. 2.

9. Messen der Winkel. Transporteur. Das Messen der Winkel kommt auf das Messen der Bögen, die vom Scheitel, als Mittelpunkt betrachtet, beschrieben werden, folglich auf das Messen eines eingetheilten Kreisbogens hinaus. Die Abtheilungen der Bögen sind der Grad, die Minute und die Sekunde.

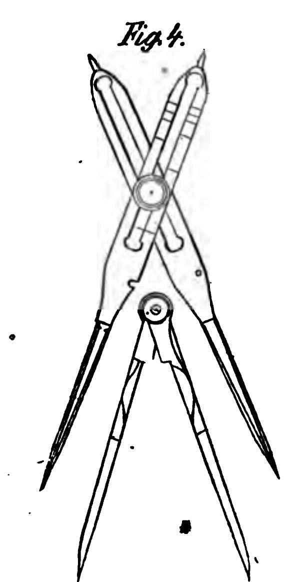

Fig. 3.

Der Transporteur (Fig. 3) bietet uns ein Beispiel eines derartigen eingetheilten Kreisbogens. Er wird benutzt, um einen auf Papier gezeichneten Winkel in Graden auszudrücken. Man [illegible] den Transporteur auf das Papier, läßt den Durchmesser

des Halbkreises mit einer der beiden Seiten des Winkels coincidiren und giebt dabei Acht, daß das Centrum mit dem Scheitel des Winkels zusammenfalle. Derjenige Punkt, an welchem die zweite Seite des Winkels die Peripherie trifft, wird notirt. Auf diese Weise läßt sich ein Winkel bis auf $\frac{1}{2}$ Grad Genauigkeit messen.

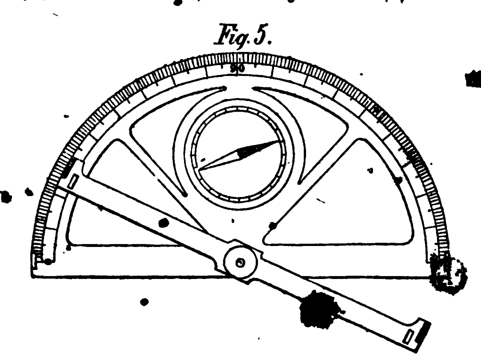
10. Zirkel. Ein Winkel läßt sich auch noch mit Hilfe eines Zirkels (Fig. 4) messen. Zu diesem Zweck construirt man einen Winkel, welcher dem gegebenen gleich ist. Vom Scheitel dieses Winkels aus, den man als Centrum betrachtet, beschreibt man eine Peripherie. Jetzt bringt man die beiden Spitzen des Zirkels an diejenigen Punkte, in welchen die Peripherie von den beiden Schenkeln des Winkels geschnitten wird und trägt diese Oeffnung des Zirkels auf der Peripherie auf, bis man wieder zum Ausgangspunkt gelangt. Bezeichnet man mit m die Anzahl der gleich großen Sehnen, mit h die Zahl, welche angiebt, wie vielmal die Peripherie durchlaufen worden ist, so hat man für den Winkel in Graden

$$\frac{h}{m}\,360^{\circ}.$$


Fig. 4.

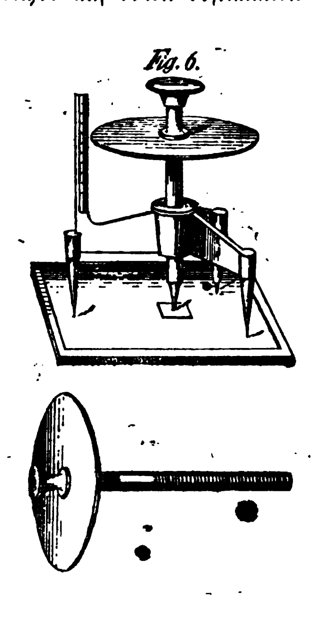
Ist z. B. $h = 2$, $m = 21$, so ist der gesuchte Winkel $34^{\circ}\ 17'\ 8''$.

11. Graphometer. Kreis. Um den Winkel zu messen, den Lichtstrahlen, welche von zwei verschiedenen Punkten kommen, mit einander bilden, benutzt man einen Kreis oder Kreisabschnitt (Fig. 5), welcher in Grade und in Bruchtheil-Grade eingetheilt ist. Um eine Axe, die durch das Centrum dieses Kreises geht, bewegt sich eine Albidade oder ein beweglicher Diameter, auf


Fig. 5.

welchem sich kreisförmige Nonien befinden, deren Linien mit einem Diameter zusammenfallen. Auf der Alhidade befinden sich zwei darauf senkrecht stehende Absehen, um die Visirlinie genau bestimmen zu können. Diese Linie entspricht dem Durchmesser, der durch die Nullstriche der Nonien geht. Die durch die Linie der Alhidade beschriebenen Winkel werden von einer bestimmten Linie aus berechnet, welcher der Nullpunkt der Randeintheilung entspricht. Daß die Nonien, mit denen man die Winkel mißt, auf denselben Principien beruhen, wie 8 angegeben worden ist, leuchtet von selbst ein. Ist z. B. der Rand in halbe Grade getheilt, und will man Winkel bis auf weniger als eine Minute, d. h. $\frac{1}{16}$ Grad, messen, so bringt man auf dem Nonius Abtheilungen an, welche $\frac{29}{30}$ eines Grades entsprechen.

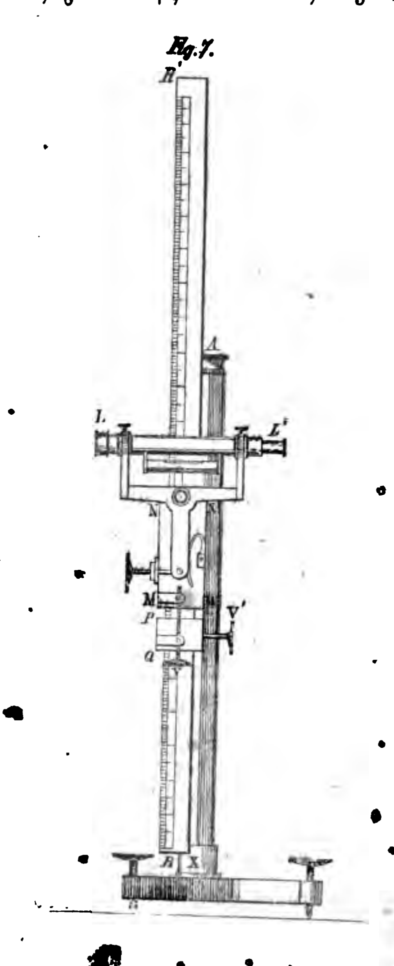
12. Mikrometerschraube. Diese Schraube (Fig. 6a), bei welcher auf einen bestimmten Theil ihrer Länge eine große Anzahl von Gängen gehen, dient zur genauen Messung sehr kleiner Längen. Am Ende trägt sie eine Scheibe, die an ihrem Umfange mit einer Theilung versehen ist. Der Umfang ist in 100, 200 ... 500 gleiche Theile getheilt. Vermittelst der Mikrometerschraube lassen sich Linien messen, deren Länge weniger als $\frac{1}{500}$ Millimeter beträgt.


Fig. 6.

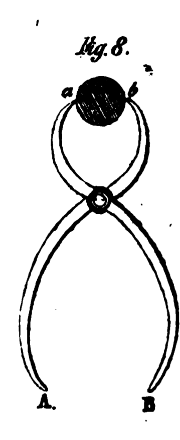
Auf gleichem Principe, wie die Mikrometerschraube, beruht das Sphärometer (Fig. 6b), das hauptsächlich zum Messen der Dicke dünner Blättchen gebraucht wird; man benutzt es außerdem, zu untersuchen, ob die Oberfläche eines für eben gehaltenen Körpers auch in der That vollkommen eben ist, ob ferner ein kugelförmig gekrümmt scheinender Körper auch wirklich eine solche Krümmung besitzt; und die Schraubentheilmaschine, welche man benutzt, um Längenausdehnungen, wie Thermometerröhren, Nonien u. s. w. in eine bestimmte Anzahl von gleich langen Theilen zu theilen.

13. Kathetometer. Dieses Instrument besteht aus einer Combination des Nonius mit der Schraube und wird zur Bestimmung und Messung von Niveauunterschieden benutzt.

Es besteht aus dem horizontalen Fernrohre L L′ (Fig. 7), das nach zwei verschiedenen Richtungen, ein Mal nach dem vertikal stehenden eingetheilten Maßstabe R R′, das andere Mal um die feste Axe A X bewegt werden kann. Das Fernrohr wird durch die Vorrichtung M N P Q gehalten, welche letztere aus zwei Theilen besteht. Der obere Theil M N, der das Fernrohr trägt, ist mit einem Nonius versehen und dient dazu, auf dem Maßstabe die Veränderungen der Axe des Fernrohres zu messen. Durch die Schraube V läßt sich der obere Theil dem untern P Q nähern. Letzterer läßt sich in verschiedenen Höhen mittelst der Schraube V befestigen. Der Maßstab, auf welchem die Vorrichtung M N P Q auf und ab bewegt werden kann, ist um ein vertikales Stativ herum beweglich, dessen Fuß mit Schrauben zum Einstellen versehen ist. Auf diese Weise kann man nach einander zwei in verschiedenen Azimuthen befindliche Punkte visiren und vermittelst des Nonius die vertikale Distanz ihres Niveaus ableiten.



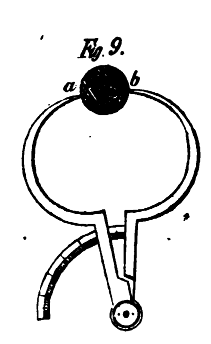
14. Zirkel, um die Dicke eines Körpers zu messen. Dieses Instrument ist wie ein gewöhnlicher Zirkel construirt, dessen verlängerte Schenkel über den Kopf, wo sie vereinigt sind, herausgehen und sich in gleichen Halbkreisen biegen (Fig. 8). Aus der Zeich-



nung ist ersichtlich, daß die Entfernung der beiden Punkte ab proportional der Entfernung AB der beiden Spitzen des Zirkels ist. Man braucht deshalb nur diese letzteren auf einem Maßstabe zu messen, um die ersten zu erfahren.

Um die Dicke eines Körpers mit diesem Instrumente zu messen, um z. B. den Durchmesser eines Cylinders zu erfahren, öffnet man die Schenkel des Zirkels, so daß der Cylinder mit Leichtigkeit zwischen die Punkte a und b gebracht werden kann, und nähert darauf die Spitzen einander, so daß der Cylinder festgehalten wird. Die Entfernung der beiden Punkte AB des Zirkels giebt durch Reduktion die Oeffnung ab.

Es sei z. B. OA = 10. Oa; die ähnlichen Dreiecke OAB, Oab geben: $ab : AB = Oa : OA$, woraus $ab = \frac{1}{10} AB$.



Nehmen wir an, AB entspreche ungefähr einem Millimeter, so wird ab oder die Dicke des Cylinders ungefähr $\frac{1}{10}$ Millimeter sein.

Man kann auch direkt die Oeffnung ab auf einen in Millimeter getheilten Maßstab übertragen, was jedoch nur geschehen kann, wenn die Oeffnung nicht zu klein ist, und ferner die beiden größeren Schenkel des Zirkels weglassen, worauf aus dem Instrument ein Reduktionszirkel entsteht (Fig. 9).

15. Theilbarkeit der Körper. Alle bis jetzt bekannten Körper bestehen aus kleinsten Theilchen. Unzählige Beispiele zeigen uns die Theilbarkeit aller Körper, die fortgesetzt werden kann, bis man zu Theilchen gelangt, die kaum noch durch unsere Sinne wahrgenommen werden können.

Ein Centigramm Carmin färbt 10 Kilogramm Wasser noch merklich roth, und ist demnach in zehn Millionen sichtbare und wägbare Theilchen getheilt worden.

Mit einer Quantität Gold, welche einem Würfel von 12 Millimetern Seide gleich ist, lassen sich mehr als 14 Billionen noch wahr=

nehmbare Theilchen erhalten. Ein jedes dieser Theilchen wiegt noch nicht $\frac{3}{100000}$ Milligramm.

Von der außerordentlichen Kleinheit der Körper kann man sich durch Betrachtung mikroskopischer Thiere eine Vorstellung machen, wenn man bedenkt, daß dieselben Organe besitzen, Nahrung zu sich nehmen und aus dieser Stoffe aufnehmen, die zur Bildung ihrer Organe erforderlich sind. Manche dieser Thiere sind 1000 Millionen Mal kleiner als ein Sandkorn und doch besitzen diese Thierchen, da sie leben und sich häufig sehr lebhaft bewegen, Glieder, Gelenke, Muskeln u. s. w.

Das auffallendste Beispiel der Theilbarkeit der Körper bietet uns aber der Moschus dar. Eine kaum wägbare Menge Moschus kann viele Jahre lang einen großen Raum mit merklichem Geruch erfüllen, wenn auch öfterer Luftwechsel stattfindet. Das Gewicht des Moschus ist scheinbar dasselbe geblieben.

16. Moleküle. Atome. Die Theilbarkeit läßt sich so lange fortsetzen, bis wir endlich an eine Grenze kommen, wo in Folge der Unvollkommenheit unserer Sinne und unserer Instrumente die Theilung aufhört. Obgleich es wahrscheinlich ist, daß die Theilung der Körper bis ins Unendliche fortgehen könne, so nimmt man doch allallgemein an, daß die Theilbarkeit eine Grenze habe. Demzufolge betrachtet man alle Körper bestehend aus kleinsten Theilchen, die nicht weiter getheilt werden können. Diese kleinsten Theilchen nennt man Moleküle oder Atome. Alle Veränderungen, welche die Körper in ihrer Materie erleiden, sind eine Folge einer Veränderung der Lage und einer Andersgruppirung der Atome.

Die Atomvolumen sind verschieden, obgleich außerordentlich klein. Wasserstoffgas kann z. B. durch eine Ritze in einem Gefäß entweichen, durch welche Luft und Wasser nicht entweichen können. Dieser Versuch beweist indirekt die begrenzte Theilung der Materie und rechtfertigt die Hypothese der Atome, welche zum Verständniß gewisser Erscheinungen nothwendig ist.

17. Porosität. Die Moleküle, aus denen die Körper bestehen, sind durch leere Zwischenräume von einander getrennt, die man Poren nennt. Die Porosität ist die Eigenschaft aller Körper, solche Poren zu besitzen. Sie läßt sich durch Zusammendrückbarkeit und dadurch nachweisen, daß ein Körper in die Masse eines anderen einzudringen im Stande ist.

Die Körper vermindern ihr Volumen, wenn man sie abkühlt oder zusammendrückt. Die Volumenverminderung, welche man dabei beobachtet, ist von der Materie und dem Zustande des Körpers abhängig; sie wird aber bei allen Körpern, selbst bei flüssigen wahrgenommen, die man ehedem für nicht zusammendrückbar hielt.

Wenn man in eine graduirte Glasröhre 50 Theile Wasser und 53 Theile Weingeist bringt, das Wasser zuerst und sodann den Alkohol vorsichtig über das Wasser gießt, so daß der Alkohol in Folge seines geringern specifischen Gewichts über dem Wasser schwimmt, so wird das Volumen der beiden Flüssigkeiten gleich sein den Summen der Volumen der beiden Flüssigkeiten, d. h. = 103 Theilen.

Verschließt man nun die Glasröhre mit einem Korke und mischt die beiden Flüssigkeiten durch Schütteln, so bemerkt man, daß das Volumen der Flüssigkeit auf 100 reducirt wird und daß dieselbe sich zusammenzieht. Dieser Versuch beweist die Porosität des Wassers und des Alkohols.

Im Augenblicke des Mengens beider Flüssigkeiten bemerkt man eine beträchtliche Temperaturerhöhung und die Flüssigkeit trübt sich durch eine große Menge von Luftbläschen, die sich aus der Flüssigkeit entwickeln und auf die Oberfläche derselben steigen. Diese Luft war in den Poren der Flüssigkeiten enthalten und mußte daraus entweichen, als das Volumen der Flüssigkeiten sich verringerte.

Fig. 10.



Daß Körper von fremden Molekülen durchdrungen werden können, läßt sich leicht durch organisirte Körper wie durch thierische Haut und durch Holzscheiben nachweisen.

Wenn man eine dünne Scheibe von Holz oder ein Stück Haut auf den oberen Theil einer offenen Glasröhre (Fig. 10) aufsetzt, die Röhre mit einer Luftpumpe in Verbindung setzt, auf die Scheibe oder auf die Haut Quecksilber bringt und die Luft unter der Röhre verdünnt, so bemerkt man, daß in dem Augenblick, als der Druck unterhalb des Quecksilbers sich vermindert, das Quecksilber durch die Scheibe oder die Haut hindurchläuft und in Gestalt eines feinen Regens in die Röhre herabfällt.

Porositätserscheinungen bemerkt man ferner an dem Hydrophan und der Kreide, aus welchen man im Wasser Luftblasen entweichen sieht; an dem Eisen, welches, wenn es bei erhöhter Temperatur mit Kohlenpulver erhitzt wird, Kohle aufnimmt, ohne sein Volumen zu verändern; an dem Kupfer, Silber und Gold, wenn diese Metalle Quecksilberdämpfen ausgesetzt werden; an gewissen Metalloxyden, welche durch Kohle oder durch reducirende Gase reducirt werden können, ohne ihr Ansehn zu verändern.

Zweites Kapitel.

Von der Bewegung. Von den Kräften.

18. Beweglichkeit. — 19. Absolute und relative Bewegung. — 20. Messen der Bewegung. Raum. Zeit. — 21. Gleichförmige Bewegung. — 22. Ungleichförmige Bewegung. — 23. Kräfte. Trägheit der Materie. — 24. Art der Wirkung der Kräfte. — 25. Princip der Unabhängigkeit der Bewegungen. — 26. Gleichmäßig beschleunigte Bewegung. Gesetz der Geschwindigkeit. — 27. Gesetz der Räume. — 28. Geschwindigkeit aus dem Raume. Raum aus der Geschwindigkeit. — 29. Beschleunigung. — 30. Messen der Masse. — 31. Zusammensetzung der Kräfte.

18. Beweglichkeit. Wenn ein Körper in Bezug auf ein System von Körpern seine Lage ändert, so sagen wir, dieser Körper sei in Bewegung. Fortgesetzte Beobachtungen haben gelehrt, daß alle Körper den Ort, an welchem sie sich befinden, verändern können; deshalb betrachten wir die Beweglichkeit als eine allgemeine Eigenschaft aller Körper.

19. Absolute und relative Bewegung. Wenn die Körper, welche wir als nicht bewegte betrachten, sich dennoch in dem Raume fortbewegen und in derselben Zeit der beobachtete Körper in Bezug auf sie seinen Ort verändert, so spricht man von relativer Bewegung. Derartige Bewegungen sind die Bewegungen eines Menschen auf einem segelnden Schiffe, ferner die Bewegungen auf der Oberfläche der Erde.

Ein in relativer Bewegung begriffener Körper kann sich im absoluten Raume in Ruhe befinden. Wir wissen, daß wir mit der Erde die Himmelsräume durchfliegen, indem sie sich um die Sonne dreht, über unsere absolute Bewegung ist uns nichts bekannt, da wir nicht wissen, ob die Sonne in der That ein unbegrenztes Centrum in der Welt ist.

20. Bestimmung der Bewegung. Wenn ein Körper sich bewegt, so wird eine Linie beschrieben, die man die Richtung nennt.

Die Bewegung ist bestimmt, wenn man die Lage und die Gestalt dieser Linie kennt, wenn man ferner weiß, in welcher Zeit die verschiedenen Theile dieser Linie durchlaufen worden sind.

Raum. Zeit. Durch den Raum und die Zeit erhalten wir eine Vorstellung von der Bewegung. Raum und Zeit sind gewissermaßen die mathematischen Elemente derselben. Das Messen des Raumes lehrt uns die Geometrie. Die Zeit oder die Dauer einer Erscheinung schätzen wir durch eine andere Erscheinung, die unter genau unveränderlichen Bedingungen vor sich geht und sich eine gewisse Anzahl Mal wiederholt, während die erste Erscheinung beobachtet wird. Die Schwingungen eines Pendels und die Veränderungen der Gestirne sind Erscheinungen, welche sich genau unter denselben Bedingungen wiederholen und deshalb zum Messen der Zeit benutzt werden.

21. Gleichförmige Bewegung. Sind die Wege, die das Bewegliche in gleichen noch so kleinen oder großen Zeiten zurücklegt, gleich, so wird die Bewegung gleichförmig genannt.

Zwei Bewegliche, die sich gleichförmig bewegen, können nicht denselben Raum in derselben Zeit durchlaufen. Man erfährt die relative Schnelligkeit ihrer Bewegungen, indem man die Räume, die in der nämlichen Zeit durchlaufen worden sind, mit einander vergleicht.

Der von einem Jeden der Beweglichen durchlaufene Raum unter der Einheit der Zeit, heißt die Geschwindigkeit ($= V$). Nach der Definition der gleichförmigen Bewegung ist die Geschwindigkeit constant. Bezeichnet man mit R den in der Zeit T durchlaufenen Raum, so hat man das Verhältniß:

$$R = Vt, \text{ daraus: } V = \frac{R}{t}$$

22. Ungleichförmige Bewegung. Wenn sich die Geschwindigkeit eines bewegten Körpers ändert und der Körper in dem folgenden Zeitabschnitte einen Weg zurücklegt, welcher von dem im vorigen abweicht, so heißt die Bewegung eine ungleichförmige.

Wachsen die Räume, so ist die Bewegung eine beschleunigte, nehmen sie dagegen ab, eine verzögerte. Nimmt die Geschwindigkeit in jedem folgenden Zeitabschnitte um dieselbe Größe zu oder ab, so heißt sie gleichförmig beschleunigt oder verzögert. Beispiele solcher Bewegungen zeigen uns frei fallende oder frei in die Höhe geworfene Körper. Als ein besonderer Fall ungleichför-

miger Bewegung ist die Bewegung zu erwähnen, welche stattfindet, wenn ein Körper aus dem Zustand der Ruhe in den der Bewegung übergeht, eine Geschwindigkeit erlangt, die nach einiger Zeit ihr Maximum erreicht, dann wieder abnimmt und endlich verschwindet, worauf er seine Bewegung mit derselben Anwendung der Geschwindigkeit in entgegengesetzter Richtung wieder beginnt. Solche Bewegungen nehmen wir an einem Pendel, an dem Kolben einer Dampfmaschine wahr u. s. w.

23. Kräfte. Trägheit der Materie. In dem vorigen Abschnitte haben wir die Bewegungen betrachtet, nicht aber die Ursachen berücksichtigt, durch welche die Bewegungen erzeugt oder verändert werden. Diese Ursachen bezeichnet man mit dem Namen Kräfte.

Die Erfahrung hat folgende Gesetze kennen gelehrt:

Ein in Ruhe befindlicher Körper wird so lange in diesem Zustande verharren, bis eine äußere Kraft auf ihn einwirkt; ein in Bewegung befindlicher Körper kann eben so wenig die Bewegung vernichten oder auf irgend eine Weise seine Geschwindigkeit und seine Richtung durch sich selbst verändern, so daß, wenn keine äußere Kraft auf den bewegten Körper einwirkt, die Bewegung gradlinig und gleichmäßig ist; dieses Bestreben der Materie, in dem einmal angenommenen Zustand der Ruhe oder der Bewegung zu verharren, hat man mit dem Namen Trägheit oder Beharrungsvermögen bezeichnet.

Eine jede Veränderung des Zustandes der Ruhe oder der Bewegung eines Körpers kann nur durch eine von demselben verschiedene Ursache hervorgerufen werden. Diese Ursache heißt Kraft, wenn sie activ, Hinderniß, wenn sie passiv ist. Bei allen auf der Erde stattfindenden Bewegungen bilden die Rauheit der Oberfläche der Körper, worauf andere Körper sich bewegen, oder der Widerstand der Luft, des Wassers u. s. w. solche Hindernisse dar; deshalb muß jede irdische Bewegung beständig eine Veränderung erfahren und endlich aufhören. Ohne die genannten Hindernisse würde die Bewegung jedenfalls ewig fortdauern. Bei der Bewegung der Himmelskörper ist dies der Fall, die seit Jahrtausenden keine merkliche Veränderung erlitten hat.

24. Art der Wirkung der Kräfte. Die Ursache, welche die Bewegung hervorbringt oder vernichtet, die Kraft, ist uns ihrem

Wesen nach völlig unbekannt. Wir kennen nur ihre Wirkungen und die Gesetze, nach denen diese Wirkungen erfolgen. Wir wissen, daß die Wirkung einer Kraft auf einen Körper darin besteht, ihn in Bewegung zu setzen und ihm eine gewisse Richtung zu geben, die wir für die Richtung der Kraft selbst nehmen.

Lassen wir auf einen in Ruhe befindlichen materiellen Punkt während einer gewissen Zeit eine der Größe und der Richtung nach constante Kraft einwirken, so finden wir, daß, wenn wir den Körper sich selbst überlassen, er sich mit um so größerer Geschwindigkeit bewegt, je längere Zeit die Kraft auf ihn eingewirkt hat. Hat die Kraft nur sehr kurze Zeit eingewirkt, so wird die erlangte Geschwindigkeit eine sehr kleine sein. Daraus ist der Schluß zu ziehen, daß die Geschwindigkeit allmählich zunehmen, und daß eine jede Kraft einem Beweglichen nur in einem unendlich kleinen Zeittheilchen eine endliche Geschwindigkeit mittheilen muß.

In der Materie treffen wir nur Kräfte an, welche die Geschwindigkeit der Beweglichen beständig verändern. Wir nennen diese Kräfte beschleunigende und verzögernde Kräfte.

25. Princip der Unabhängigkeit der Bewegungen. Um die Gesetze zu bestimmen, nach welchen die Kräfte die Geschwindigkeit zu verändern streben, nehmen wir an, daß die Wirkung einer Kraft nicht durch den bestehenden Zustand der Ruhe oder Bewegung des Körpers verändert wird, auf welche die Kraft einwirkt.

Dieses Princip der Unabhängigkeit der Kräfte oder der Bewegungen läßt sich direct nicht beweisen, es muß vielmehr als der Ausdruck beobachteter Thatsachen betrachtet werden.

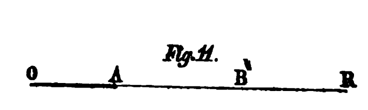
So bewegen wir uns in einem in Bewegung begriffenen Schiffe auf die nämliche Weise; wenn wir die uns umgebenden Gegenstände berühren, so üben wir auf sie dieselbe Wirkung aus, als wenn das Schiff sich in Ruhe befände.

Die Bewegung der Erde ist auf unsre Bewegungen so wenig von Einfluß, daß wir die Bewegung der Erde um ihre Axe und um die Sonne nur aus dem veränderten Stand der Gestirne zu erkennen vermögen.

26. Gleichförmig beschleunigte Bewegung. Gesetz der Geschwindigkeit. Nehmen wir eine Kraft an von constanter Größe und Richtung, nehmen wir ferner an, daß diese Kraft momentan,

d. h. in gleichmäßigen und auf einander folgenden Stößen auf ein Bewegliches einwirke, welches letztere sich nach der Richtung der Kraft fortbewegt.

OR (Fig. 11) sei diese Richtung. Bezeichnen wir mit Θ die Dauer der Zeit, welche zwei auf einander folgende Impulse von einander trennt, mit OA = a den von dem Beweglichen in der Zeit Θ zurückgelegten Raum.



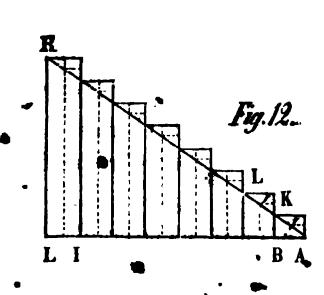
Die während der aufeinanderfolgenden Zeiten Θ durchlaufenen Räume werden sein nach no (25) 2a, 3a, 4a ... na und die entsprechenden Geschwindigkeiten v, 2v .... nv.

Die Geschwindigkeiten wachsen proportional der Anzahl der Impulse oder der Anzahl der Zeitabschnitte; sie sind proportional den Zeiten, die seit dem Beginne der Bewegung verflossen sind.

Dieses Gesetz ist von der Größe der Impulse und der Zeit, welche zwei auf einander folgende Impulse trennt, vollkommen unabhängig; dieses Gesetz findet noch seine Bestätigung, wenn die Impulse unendlich klein und durch unendlich kleine Zeitabschnitte von einander getrennt sind. Daraus folgt, daß die Geschwindigkeit eines durch gleichförmig beschleunigte Kraft in Bewegung gesetzten Beweglichen proportional der Zeit variirt.

27. Gesetz der Räume. Dieses Gesetz wird erhalten, wenn man die Summe der Zahlen a, 2a, 3a ... na, die in arithmetischer Progression sind, nimmt und die Grenze dieser Summen $n = \infty$ setzt.

Wir wenden zu diesem Gesetz eine graphische Darstellung an.

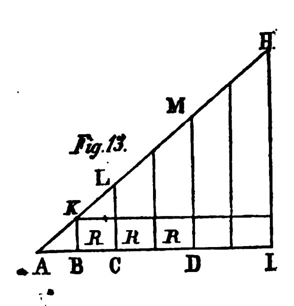


Wir repräsentiren die Zeit durch gleiche Bruchtheile einer horizontalen Linie und die entsprechenden Geschwindigkeiten durch Vertikalen (Fig. 12). Die in der Hypothese der momentan wirkenden, unterbrochenen und gleichwirkenden Impulse zurückgelegten Räume werden durch die Rechtecke AK, BL ... IR ausgedrückt, von welchen die Summe

des Flächeninhaltes den während der Zeit n Θ zurückgelegten Raum angiebt.

Nehmen wir nun an, daß die Kraft, anstatt durch jeden Impuls die Geschwindigkeit v zu erzeugen, nur die Geschwindigkeit $v' = \frac{1}{2v}$ giebt, daß sie aber in Zeitabschnitten wirke, welche durch $\frac{\Theta}{2}$ ausgedrückt seien, so werden die in den Zeitabschnitten Θ, 2Θ, 3Θ ... nΘ erlangten Geschwindigkeiten dieselben sein, wie bei der ersten Hypothese, der in jedem Zeitabschnitte beschriebene Raum wird aber um eine Quantität sich vermindern, die durch ein jedes der Rechtecke r ausgedrückt wird.

Ebenso verhält es sich mit Impulsen, die in mit $\frac{\Theta}{4}$ bezeichneten Zeitabschnitten ein Wachsen der Geschwindigkeit $v = \frac{v'}{2} = \frac{v}{4}$ hervorbringen und so fort bis zum Wachsen der Geschwindigkeit $\frac{v}{2m}$, die in Zeitabschnitten $\frac{\Theta}{2m}$ hervorgebracht worden ist. Wie groß auch m sein möge, die nach den Zeiten Θ, 2Θ .... nΘ erlangten Geschwindigkeiten werden stets dieselben sein.



Die Gesetze der gleichförmig beschleunigten Bewegung lassen sich durch die Figur 13 ausdrücken.

Die Ordonaten der Hypothenuse BK, CL, DM repräsentiren die nach den Zeiten AB, AC, AD erlangten Geschwindigkeiten.

Die Dreiecke ADK, ACL, ADM ... AIR repräsentiren die zurückgelegten Räume.

Daraus lassen sich folgende Gesetze ableiten:

1. Die erlangten Geschwindigkeiten sind proportional den seit dem Beginn der Bewegung verstrichenen Zeiten.

2. Die durchlaufenen Räume sind proportional dem Quadrate der Zeiten und dem Quadrat der Geschwindigkeiten.

Diese Gesetze geben, in algebraische Formeln ausgedrückt, die Gleichungen:

(1) $$V=\varphi t$$
(2) $$E=E_1 t^2$$

φ ist die nach dieser Einheit der Zeit erlangte Geschwindigkeit, E der nach der ersten Einheit der Zeit durchlaufene Raum; dieser durch das Dreieck A D K repräsentirte Raum ist die Hälfte des Raums, die das Bewegliche in gleichförmige Bewegung mit der Geschwindigteit φ zurücklegen würde, woraus

$$E_1=\frac{1}{2}\varphi$$

und (3) $$E=\frac{1}{2}\varphi t^2.$$

28. Geschwindigkeit aus dem Raum. Raum aus der Geschwindigkeit. Indem man aus den Gleichungen (1) und (3) t eliminirt, erhält man

(4) $$V^2=2\varphi E,$$
(5) $$E=\frac{V^2}{2\varphi}$$

$V=\sqrt{2\varphi E}$ heißt in der Mechanik die Geschwindigkeit aus dem Raum;

$E=\frac{V^2}{2\varphi}$ der Raum aus der Geschwindigkeit.

29. Beschleunigung oder Acceleration. Die in aufeinander folgenden Einheiten der Zeit durchlaufenen Räume zeigen eine constante Differenz, welche durch das Rechteck ausgedrückt wird. Die Differenz ist gleich dem doppelten Raume, der von dem Beweglichen in der ersten Einheit der Zeit durchlaufen worden ist. Man nennt diese Differenz Beschleunigung oder Acceleration.

Sie drückt die Wirkung der Kraft auf das Bewegliche aus; man benutzt sie, um die Intensität der Kraft zu messen.

Auf diese Weise hat man für zwei Kräfte F, F', die einem Beweglichen die Accelerationen φ, φ' ertheilen:

$$F:F'=\varphi:\varphi'.$$

30. Messen der Masse. Die Beziehung $\frac{F}{\varphi}$ ist für dasselbe Bewegliche constant, nicht constant in Beziehung auf ein andres Bewegliches; durch das angegebene Verhältniß mißt man die Masse des Beweglichen.

Das Verhältniß:

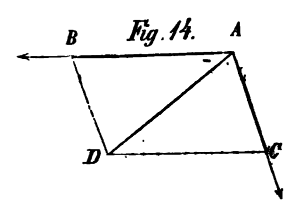
$$F:F'=\varphi:\varphi';\ F=\frac{F'}{\varphi'}.\varphi$$

führt das Maß einer Kraft auf die Ermittelung der Masse des Beweglichen und auf die Beschleunigung zurück.

31. Zusammensetzung der Kräfte. Wenn mehrere nicht parallele Kräfte unter einem Winkel auf einen Punkt einwirken, so bewegt sich der Körper in einer einzigen Richtung fort, als ob nur eine einzige Kraft auf ihn einwirkte. Die Kräfte, welche auf den Körper einwirken, lassen sich durch eine einzige Kraft ersetzen, deren Wirkung jener der vorhandenen Kräfte gleich ist. Diese Kraft führt den Namen der Resultirenden oder der Resultante.

Ebenso kann auch eine einzige Kraft durch zwei oder mehrere Kräfte ersetzt werden, welche man die Componenten oder Composanten nennt.

Parallelogramm der Kräfte. Wenn zwei Kräfte P, P′, welche auf den Punkt A einwirken, in Bezug auf Richtung und Intensität durch die Geraden AB, AC (Fig. 14) ausgedrückt werden, so wird die Resultirende dieser beiden Kräfte, was Richtung und Intensität anbelangt, durch die Diagonale AD des zu AB und AC construirten Parallelogramms ausgedrückt. Ein solches Parallelogramm, dessen Seiten die Richtungen und das Verhältniß der Intensitäten zweier Kräfte vorstellen, heißt das Parallelogramm der Kräfte. Sind mehr als zwei Kräfte gegeben, zu welchen die Resultirende gefunden werden soll, so construirt man aus zweien derselben das Parallelogramm und zieht die Diagonale, welche mit der dritten Kraft zu einem Parallelogramm verbunden wird. Die Diagonale dieses Parallelogramms ist die Resultirende aller drei Kräfte u. s. w.



Drittes Kapitel.

Von der Schwere.

32. Schwere. — 33. Fall der Körper in der Luft. — 34. Fall der Körper im leeren Raume. — 35. Widerstand der Luft. — 36. Gesetze des Falles der Körper. — 37. Schiefe Ebene. — 38. Gesetz der Räume. — 39. Gesetz der Geschwindigkeiten. — 40. Fallmaschine von Atwood. — 41. Versuche. Gesetz der Räume. Gesetz der Geschwindigkeiten. — 42. Apparat von Morin.

32. Schwere. Alle Körper, die sich frei überlassen werden, bewegen sich gegen die Erde und schlagen eine Richtung ein, welche zu dem Horizont perpendiculär ist.

Man drückt dieses Factum dadurch aus, daß man sagt, die Körper fallen.

Die Ursache dieser Bewegung hat den Namen Schwere erhalten. Diese allgemeine Eigenschaft aller Körper giebt sich durch den Druck zu erkennen, den die Körper, wenn sie an dem Fallen verhindert werden, ohne Unterlaß auf die Unterlage ausüben.

33. Fall der Körper in der Luft. Die Alten nahmen an, daß die Geschwindigkeit eines fallenden Körpers proportional seinem Gewichte sei. Galiläi war der Erste, welcher die Vermuthung aussprach, daß diese Geschwindigkeit für alle Körper die nämliche sei, mit andern Worten, daß alle Körper gleich schwer seien, wie auch ihre Natur und ihre Masse beschaffen sein möge. Diese Vermuthung wurde durch folgenden Versuch zur Gewißheit erhoben.

Er ließ Kugeln von gleichem Durchmesser, aber von verschiedenem Material, nämlich von Gold, Blei, Kupfer, Porphyr und Wachs zu gleicher Zeit von einem hohen Punkt herabfallen. Alle Kugeln erreichten zu derselben Zeit die Horizontalebene mit Ausnahme der Wachskugel, deren Verzögerung aber keineswegs ihrem relativen Gewichte entsprach. Galiläi zog aus diesem Versuche den Schluß,

daß das bis dahin angenommene Princip falsch sei und daß die bei der leichtesten Kugel beobachtete Verzögerung von dem Widerstand der Luft herrühre.

34. Fall der Körper im leeren Raum. Die Richtigkeit der von Galiläi aufgestellten Ansicht läßt sich durch den Fall der Körper im leeren Raum nachweisen (Fig. 15). Man bedient sich zu diesem Versuche einer Röhre, die man, nachdem man in dieselbe kleine Stückchen von Gold, Blei, Holz, Papier, eine Flaumfeder u. s. w. gebracht hat, luftleer macht. Wenn man sodann die Röhre schnell umkehrt, so fallen alle Substanzen gemeinschaftlich und es läßt sich kein Unterschied in ihrem Falle wahrnehmen.

Fig. 15.

35. Widerstand der Luft. Wenn man etwas Luft in die Röhre treten läßt, so findet man, daß die Körper nicht zu gleicher Zeit fallen, sondern daß das Papier und die Flaumfeder ein wenig zurückbleiben. Der Unterschied wird um so bemerkbarer, je mehr man Luft in die Röhre treten läßt. Daraus folgt, daß auf der Erdoberfläche nur in Folge des Widerstandes der Luft die Körper nicht in derselben Zeit fallen.

Der Einfluß dieses Widerstandes läßt sich noch deutlicher zeigen, wenn man in der freien Luft zwei Blätter von demselben Papier, von denen das eine zusammengerollt, das andere aber offen ist, fallen läßt. Das zusammengerollte Papier wird eher auf den Boden kommen als das andere; daraus geht hervor, daß der Widerstand der Luft bei gleichen Massen mit der Oberfläche wächst.

36. Gesetze des Falles der Körper. Galiläi wies ferner nach, daß die Schwerkraft eine beschleunigende Kraft sei; er zeigte, daß die Bewegung eines frei fallenden Körpers eine gleichförmig beschleunigte sei.

Ein directer Versuch ist nicht ausführbar:

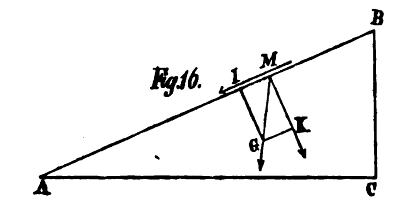
1) Es ist unmöglich das Gesetz der Geschwindigkeiten zu bestimmen; um es nachzuweisen, müßte man die Einwirkung der Kraft in einem gegebenen Augenblicke unterdrücken und die darauf folgende gleichförmige Bewegung beobachten.

2) Die Schnelligkeit hindert einen genügenden Nachweis des

Gesetzes der Räume, denn ein kleiner Irrthum in der Bestimmung der Zeit würde einen beträchtlichen Fehler in der Bestimmung der Räume nach sich ziehen.

Aus diesen Gründen muß die Bewegung der Körper mit Hülfe von Maschinen beobachtet werden, auf denen die Bewegung geschwächt, aber nicht verändert wird. Galiläi bediente sich dazu der schiefen Ebene.

37. Schiefe Ebene. Die Horizontalebene werde durch die Horizontale AC (Fig. 16), die schiefe Ebene durch die Linie AB ausgedrückt. Auf AC sei die Vertikale BC errichtet. In dem rechtwinkligen Dreieck ABC bezeichnet die Hypothenuse AB die Länge der schiefen Ebene, die Seite BC ihre Höhe, die Seite AC ihre Base.

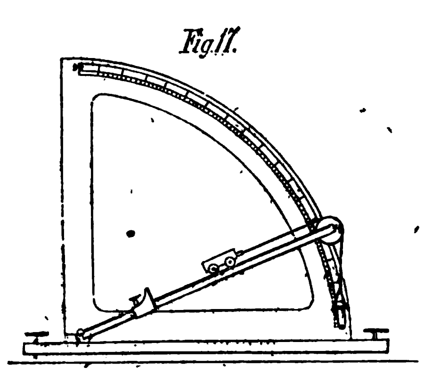


M sei ein auf der schiefen Ebene befindlicher materieller Punkt; wenn sich dieser Punkt frei befände, so würde er in der vertikalen Richtung MG fallen, in Folge des Widerstandes der Ebene verfolgt der Punkt aber eine Richtung MI, welche mit der der Länge AB zusammenfällt. Die dem Punkte dadurch mitgetheilte beschleunigte Bewegung ist ein constanter Bruchtheil der ursprünglichen beschleunigten Bewegung eines frei fallenden Körpers. Man wird diesen Bruchtheil erhalten, indem man MG (Vergl. 31) nach den beiden Richtungen MI, MK die eine parallel, die andere perpendicular zu AB zerlegt. Die Vergleichung der beiden ähnlichen Dreiecke MGI und ABC giebt:

$$MI = MG\frac{BC}{AB} = MG.\frac{h}{l}.$$

Das constante Verhältniß $\frac{h}{l}$ kann dadurch, daß man die Ebene noch mehr neigt, so klein als möglich werden; die Bewegung eines schweren Körpers auf einer schiefen Ebene kann daher beliebig reducirt werden und wird sich immer ähnlich bleiben.

38. Gesetz der Räume. Das Gesetz, daß die Räume sich wie die Quadrate der Zeiten verhalten (Vergl. 27), ist durch folgenden Apparat nachgewiesen worden:



Ein kleiner Wagen (Fig. 17) lief auf Schienen, die einem Maßstab parallel waren. Mittelst eines die Länge dieses Maßstabes nach beweglichen Läufers konnte der Wagen in verschiednen Entfernungen von dem Ausgangspunkte aufgehalten werden.

Zuerst wurde der von dem Wagen in der ersten Sekunde des Falles durchlaufene Raum bestimmt. Darauf wurde der Läufer in Entfernungen von Null des Maßstabes gebracht, welche viermal und neunmal so groß, als dieser Raum waren, und man fand, daß der Wagen diesen Raum in zwei, drei Sekunden u. s. w. zurücklegte.

39. Gesetz der Geschwindigkeiten. Dieses Gesetz läßt sich ebenfalls nicht direct nachweisen, da es schwierig ist, in einem gewissen Moment die Einwirkung der Kraft zu suspendiren; leicht läßt sich aber die Richtigkeit eines Schlusses aus zwei Gesetzen der gleichförmig beschleunigten Bewegung auf eine schiefe Ebene nachweisen.

Wenn man aus den beiden Gleichungen (Vergl. 28)

$$V=\left(\varphi\frac{h}{l}\right)t,\quad E=\frac{1}{2}\left(\varphi\frac{h}{l}\right)t^2$$

t eliminirt, so gelangt man zu dem Ausdruck:

$$V^2=2\varphi\left(E\frac{h}{l}\right);$$

$E\frac{h}{l}$ ist die Projection des durch das Bewegliche auf der Vertikale durchlaufenen Raums. Die erhaltene Formel zeigt uns, daß die Geschwindigkeit in einem gegebenen Moment nicht von dem durch das Bewegliche durchlaufenen absoluten Raum, sondern von dem Raum abhängig ist, der in der Richtung der Kraft beschrieben wird. $E=l$, $V^2=2\varphi h$.

Die Geschwindigkeit eines von einer Höhe h gefallenen Beweglichen ist dieselbe, welche auch die Neigung der Linie sein möge, die das Bewegliche, um die Hori-

zontalebene zu erreichen, eingeschlagen hat. Sie ist nichts anderes als die Geschwindigkeit der Höhe, um die sich der Körper vertikal, von dem Ausgangspunkt an gerechnet, tiefer befindet.

Dieser Schluß ist noch richtig, wenn das Bewegliche während des Falles eine Curve beschrieben hat; man wird stets finden, daß das Bewegliche an irgend einem Punkte diejenige Geschwindigkeit hat, welche aus der vertikalen Höhe, vom Ausgangspunkte an gerechnet bis unter diesen Punkt folgt.

40. Atwoods Fallmaschine. Gewöhnlich wendet man anstatt der schiefen Ebene einen bequemeren, sinnreichen, von Atwood construirten Apparat an, welcher nach diesem Physiker die Atwood'sche Fallmaschine genannt wird. Das Princip derselben ist folgendes: Ueber einer losen Rolle befindet sich eine Schnur, an deren Enden metallische Cylinder von dem nämlichen Gewichte befestigt sind (Fig. 18). Diese Rolle wird im Gleichgewichte sein, da die beiden Kräfte, welche auf dieselbe einwirken, sich gegenseitig aufheben. Sobald man aber zu einem der beiden Cylinder ein kleines Gewicht hinzufügt, so wird das Gleichgewicht gestört, die Schnur sich in Bewegung setzen und die Rolle sich drehen.

Fig. 18.

Die Kraft, welche die Bewegung hervorbringt, ist das Gewicht der hinzugesetzten Masse; und die Beschleunigung der Bewegung verhält sich zur Acceleration, welche die frei wirkende Schwere ihr ertheilen würde, wie das Gewicht der hinzugesetzten Masse zum Totalgewichte. Bezeichnen wir mit g' diese Beschleunigung, mit g die von der Schwere herrührende Acceleration, so erhält man:

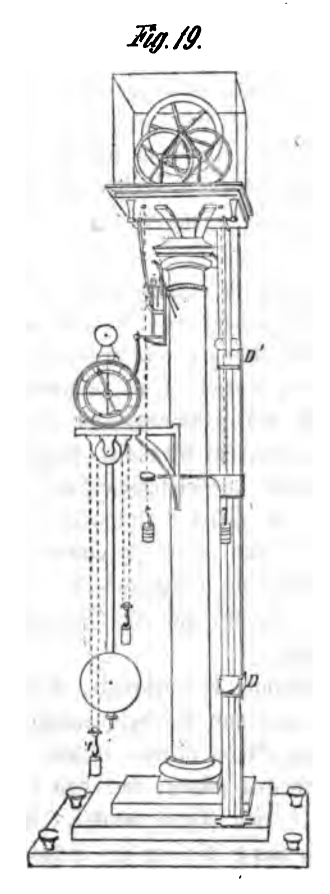
$$g':g=p:2P+p$$

Setzen wir $P=49,5$ Gramme; $p=1,000$ Gramm, so ist $g'=\frac{1}{100}g$. Die Bewegung ist also dieselbe, als wenn die drei Körper frei fielen, nur ist die constante Intensität der Schwere auf $\frac{1}{100}$ ihres Werthes reducirt worden.

Daraus geht hervor, daß man auf der Atwood'schen Maschine, eben so wie auf der schiefen Ebene, die Bewegung der fallenden Körper beliebig schwächen kann, ohne die Gesetze zu verändern, welche dieser Bewegung zu Grunde liegen.

Beschreibung der Maschine. In der Fig. 19 abgebildeten Maschine ruht die Axe der Rolle auf den Peripherien von vier

Fig. 19.



beweglichen Rädern, von welchen sich zwei vor den andern beiden befinden. Diese Aufhängungsmethode verhindert die Reibung.

Der Cylinder, zu welchem etwas Masse gesetzt worden ist, bewegt sich parallel zu einer an eine vertikale Säule befestigten Skala; die Säule trägt die Rolle. Zwei an der Skala befindliche Schieber DD' lassen sich an verschiedenen Punkten der Skala fest machen. An dem einen der beiden Schieber befindet sich eine massive Scheibe, um den Cylinder während des Falles aufzuhalten; an dem andern Schieber ist ein horizontales Tischchen befestigt, das in der Mitte ein kreisrundes Loch von solcher Größe hat, daß wohl der Cylinder, nicht aber das hinzugesetzte Gewicht hindurch kann.

Mit dem Apparat ist ein Uhrwerk verbunden, vermittelst dessen die Zeit gemessen wird. Das Uhrwerk setzt einen Zeiger auf einem Zifferblatt in Bewegung, so daß derselbe in jeder Sekunde eine Abtheilung zurücklegt.

41. Versuche. Gesetz der Räume. Gesetz der Geschwindigkeiten. Das Gesetz der Räume läßt sich auf folgende Art nachweisen. Man bringt die massive Scheibe in eine gewisse Entfernung △ vom Nullpunkte der Skala, so daß das Gewicht mit der hinzugesetzten Masse in einer Sekunde dort anlangt. Darauf bringt man die Scheibe nach einander in Entfernungen von 4 △, 9 △, 16 △ u. s. w. und man wird finden, daß in dem Augenblicke, wo der Zeiger auf die zweite, dritte und vierte Sekunde zeigt, der Cylinder auf der Scheibe anlangt.

Daraus folgt, daß die Räume, welche im freien Falle von den Körpern nach Verlauf gewisser Zeiten durchlaufen werden, sich wie die Quadrate dieser Zeiten verhalten.

Um das Gesetz der Geschwindigkeiten fallender Körper mit Hülfe der Atwood'schen Maschine zu beobachten, braucht man nur das kleine Gewicht nach 1, 2 u. s. w. Sekunden hinwegzunehmen und den von diesem Körper in der nächstfolgenden Sekunde durchlaufenen Raum zu bemerken. Zu diesem Zwecke bringt man den durchlöcherten Schieber D' zuerst in die Entfernung △, welche der Körper nach einer Sekunde erreicht, und den massiven Schieber in die Entfernung 3 △. Läßt man nun die Rolle sich drehen, so wird der Zusatz des Gewichts von dem durchlöcherten Schieber aufgehalten und das System der beiden Gewichte wird, in Folge der erlangten Geschwindigkeit und der gleichförmigen Bewegung, seine Bewegung fortsetzen; das Gewicht wird nach zwei Sekunden auf die massive Scheibe auffallen. Der Versuch kann von Neuem angestellt werden, indem man den durchbohrten Schieber in die Entfernung 4 △ und den massiven Schieber in die Entfernung 8 △ bringt; das Gewicht wird auch in diesem Falle eine Sekunde nach der Entfernung des Zusatzgewichtes auf dem Schieber anlangen.

Aus dem Vorstehenden folgt, daß die durch ein Bewegliches in der ersten Sekunde des Falles erlangte Geschwindigkeit 2 △, in den beiden ersten Sekunden 4 △ ist; für die drei ersten Sekunden ist sie 6 △ u. s. w. Die Geschwindigkeiten, die ein frei fallender Körper erlangt, sind proportional den abgelaufenen Zeiten.

Man sieht ferner, daß die erlangte Geschwindigkeit eines frei fallenden Körpers nach einer Sekunde Fall das Doppelte des Raumes beträgt, den er während dieser Sekunde zurückgelegt hat.

Diese Versuche zeigen, daß die Bewegung eines Körpers auf der Atwood'schen Maschine eine gleichförmig beschleunigte ist, weil die bewegende Kraft constant wirkt. Daraus ist der Schluß zu ziehen, daß die Schwere eine constante beschleunigende Kraft ist.

Durch die Atwood'sche Maschine lassen sich zwei schon angeführte Principe bewahrheiten:

1. Bei der Bewegung eines fallenden Körpers wirkt die Schwere stets auf die nämliche Weise. Die Geschwindigkeit, mit welcher der Körper fällt, kommt hierbei nicht in Betracht.

Dieses Princip folgt aus dem Versuch über die Geschwindigkeiten.

2. Wenn einem Körper durch zwei Kräfte genau unter denselben Bedingungen Geschwindigkeiten mitgetheilt werden, so sind dieselben proportional der Intensität dieser Kräfte.

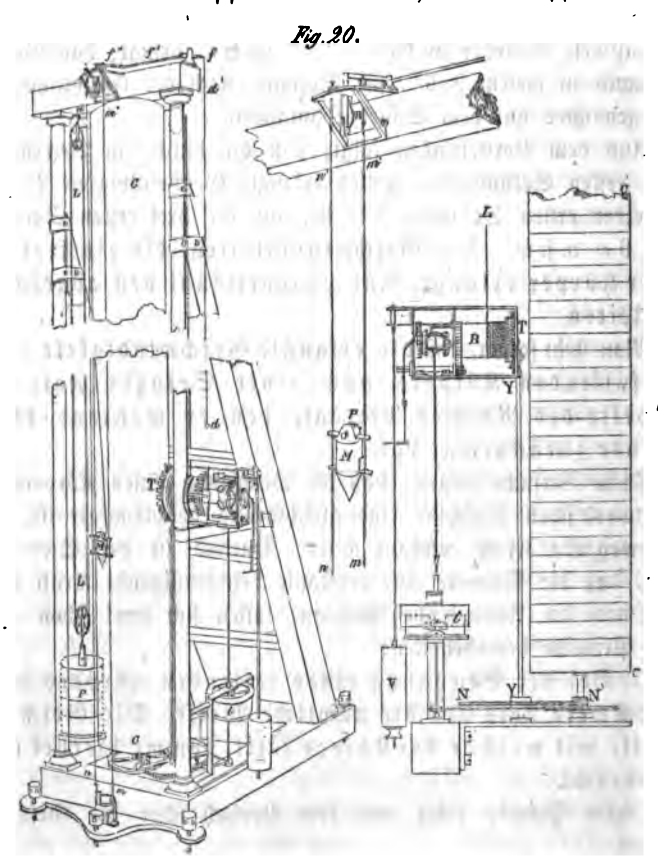
Dieser Satz läßt sich beweisen, indem man eine constant bewegliche Masse verschiedner Gewichte einwirken läßt.

Diese Gewichte lassen sich durch folgende Gleichung bestimmen: $2P + p = 2P'p' = G$ constanten Gewicht.

Nimmt man z. B. an $2P + p - 300$; $P = 145$; $p = 10$, sodann $P = 140$; $p = 20$ und $P = 135$, $p = 30$, so findet man, daß die von dem Beweglichen erlangten Geschwindigkeiten sich zu einander verhalten wie die Zahlen 1, 2, 3.

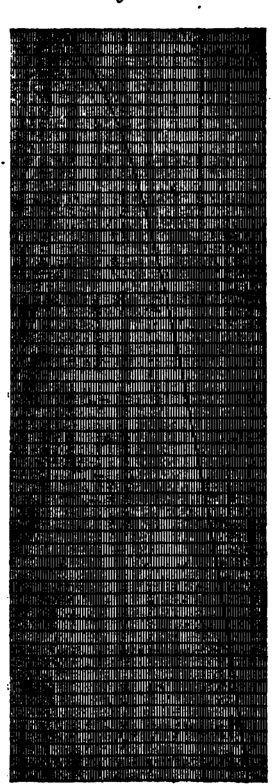
42. Morin's Apparat. Morin hat einen Apparat erdacht,

Fig. 20.



um direct die Gesetze des Falles der Körper nachzuweisen. Dieser Apparat (Fig. 20) besteht aus einem Cylinder von 3 Meter Höhe und einem Meter Umfang, der um seine vertikale Axe bewegt werden kann. Die Oberfläche ist mit Papier überzogen. An den beiden Metalldrähten mm' und nn' gleitet ein conisches Stück Blei M herab. Auf der oberen Seite ist ein mit Tusche befeuchteter Pinsel angebracht, dessen Spitze den Cylinder berührt. Wenn das Gewicht sich senkt, so beschreibt der Pinsel auf dem Cylinder eine Linie. Diese Linie, welche eine Vertikale sein würde, wenn der Cylinder befestigt wäre, verwandelt sich durch die Rotation des Cylinders in eine Curve, von welcher man die Elemente erhält, wenn man die Horizontalbewegung, welche die Oberfläche mit der vertikalen Bewegung des Pinsels annimmt, in jedem Augenblicke zerlegt.

Fig. 21



Wenn die rotatorische Bewegung des Cylinders gleichförmig ist, so ist die auf eine Ebene ausgebreitete Curve eine Parabel mit Vertikalaxe (Fig. 21), die Ordonaten dieser Curve, welche die durch die Beweglichen durchlaufenen Räume ausdrücken, sind den Quadraten der Abscissen proportional, welche die Rotationen des Cylinders bezeichnen. Diese Abscissen sind ferner proportional den seit dem Beginn der Bewegung verflossenen Zeiten; daraus schließt man, daß die Räume, welche im freien Falle von den Körpern nach Verlauf gewisser Zeiten durchlaufen werden, sich wie die Quadrate dieser Zeiten verhalten.

Die rotatorische Bewegung wird dem Cylinder durch ein Uhrwerk ertheilt, das durch ein an einer Schnur L aufgehängtes Gewicht P in Bewegung gesetzt wird. Diese Schnur ist um eine Stange B gewunden, welche durch ein Zahnrad T die Bewegung auf den vertikalen Wellbaum YY überträgt. Ein Zahnrad NN' theilt diese Bewegung dem Cylinder mit.

Die Bewegung wird durch einen dop-

pelten Moderateur, durch ein Flügelrad l und ein Pendel V regulirt. Ein Zeiger a zeigt an, wenn die Bewegung zu variiren aufhört.

Sind diese Bedingungen hergestellt, so zieht man an einem Faden dd', der mit Hülfe der Züge ff'f'' eine Zange öffnet, in welche der Kopf des Gewichtes eingeklemmt ist. Das Gewicht fällt und der Pinsel beschreibt auf dem sich bewegenden Cylinder die erwähnte Curve.

Viertes Kapitel.

Vom Gewichte. Vom Pendel.

43. Gewicht. — 44. Ermittelung der Masse. — 45. Dichte; specifisches Gewicht. — 46. Schwerpunkt. — 47. Pendel. — 48. Oscillationen des Pendels. — 49. Zusammengesetztes Pendel. — 50. Ermittelung der Dauer einer Oscillation. — 51. Länge des Sekundenpendels. Variationen. — 52. Gleiche Schwere aller Körper. — 53. Messen der Zeit. — 54. Anwendung des Pendels zur Construction von Uhren. — 55. Fernere Anwendung des Pendels.

43. Gewicht ist der Druck eines ruhenden Körpers auf seiner Unterlage. Dieser Druck wird durch die Schwerkraft hervorgebracht und da dieselbe an derselben Stelle über der Erdoberfläche in allen Massentheilchen gleich wirkt, so richtet sich das Gewicht nach der Menge der in einem Körper vorhandenen Massentheilchen.

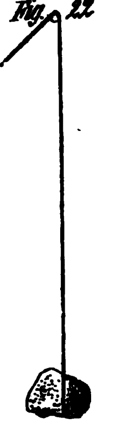
44. Ermittelung der Masse. Die Masse eines Körpers, dessen Gewicht P ist, wird nach 30 gefunden durch $\frac{d}{g}$.

Die Masse eines Körpers ist seinem Gewicht proportional.

45. Dichte. Specifisches Gewicht. Bezeichnet man mit D die Masse eines homogenen Körpers unter der Einheit des Volumens, so ist VD die Masse dieses Körpers für das Volumen V. Ist P sein Gewicht, so ist $P = VDg$ und Dg ist das Gewicht der Einheit des Volumens oder das specifische Gewicht des Körpers.

Das specifische Gewicht Dg und die specifische Masse D werden oft unter dem gemeinschaftlichen Namen Dichte zusammengefaßt.

46. Schwerpunkt. Wenn man einen Körper an einem biegsamen Faden aufhängt, so findet man, daß, wenn man die Aufhängepunkte verändert, die Richtungen des Fadens constant



sind in Bezug auf die Horizontalebene (Fig. 22), veränderlich aber in Bezug auf den Körper, daß diese Richtungen aber alle durch denselben Punkt gehen. Dieser Punkt ist der Schwerpunkt des Körpers oder der Angriffspunkt der Resultirenden, der Einwirkungen der Schwere.

Ist dieser Punkt ein bestimmter, so folgt daraus, daß die Einwirkung der Schwere auf den Körper in allen Lagen, die der Körper um diesen Punkt herum annehmen könnte, vernichtet ist.

Der Schwerpunkt kann auf experimentellem Wege gefunden werden, wenn man einen Körper an zwei verschiedenen Stellen aufhängt und die Richtungen der Fäden verlängert. Der Schwerpunkt befindet sich in dem Punkte, der beiden Verlängerungslinien gemeinschaftlich ist; er ist also da, wo sich beide Linien schneiden.

Die experimentelle Bestimmung des Schwerpunktes ist keiner großen Genauigkeit fähig. Ist der Körper homogen und hat er eine regelmäßige Gestalt, so läßt sich der Schwerpunkt auf geometrischem Wege bestimmen. Es liegt nicht in dem Plane des Werkes, auf die Bestimmung des Schwerpunktes näher einzugehen; es sei nur bemerkt, daß wenn der Körper eine symmetrische Ebene oder Axe besitzt, der Schwerpunkt in dieser Ebene oder auf dieser Axe ist.

Der Schwerpunkt einer Kugel ist demnach in ihrem Centrum, der Schwerpunkt eines Cylinders in der Mitte der Geraden, welche die Mittelpunkte der beiden Basen mit einander verbindet; der Schwerpunkt eines Ringes ist im Centrum des Ringes, der eines Parallelogrammes im gemeinschaftlichen Mittelpunkte beider Diagonalen u. s. w.

47. **Pendel** oder **Loth.** Mit diesen Namen bezeichnet man einen Körper, der an einem Faden frei herabhängt. Durch die Bewegungen des Pendels sind die Geometer zur Betrachtung des idealen Pendels, des einfachen oder mathematischen Pendels veranlaßt worden.

Das einfache Pendel besteht aus einem materiellen Punkte, der vermittelst eines nicht ausdehnbaren, unbiegsamen und gewichtslosen Fadens an einem festen Punkte aufgehängt ist.

Das Pendel ist stets im Gleichgewichte, wenn der materielle Punkt mit dem Aufhängepunkt in einem Vertikalen liegt.

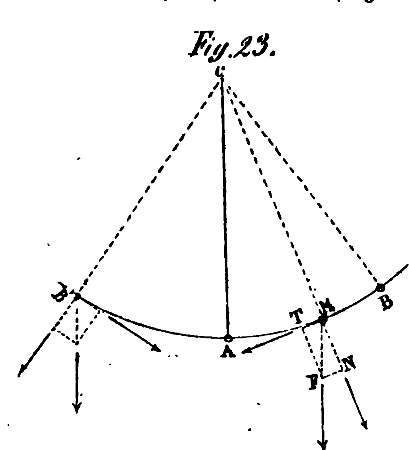
Es giebt zwei Gleichgewichtslagen, die sich wesentlich von einander unterscheiden: der Unterschied dieser beiden Arten von Gleichgewicht läßt sich sehr leicht nachweisen, wenn man das Pendel etwas aus der Vertikallage entfernt. Ist der materielle Punkt über dem Aufhängepunkt, so strebt die Schwere die Abweichung von der Verticallage zu vergrößern, und das Pendel entfernt sich aus seiner Lage. Das Gleichgewicht ist in diesem Falle unsicher oder labil.

Ist aber der materielle Punkt unter dem Aufhängepunkt, so sucht die Schwere die Abweichung zu verringern und führt endlich nach einer mehr oder minder großen Anzahl von Oscillationen das Pendel in die Gleichgewichtslage zurück. In diesem Fall heißt das Gleichgewicht sicher oder stabil.

48. **Oscillationen des Pendels.** Prüfen wir nun die kleinen Oscillationen, die das Pendel um seine stabile Gleichgewichtslage herum macht.

Diese Oscillationen sind eine Folge der Einwirkung der Schwere; sie werden durch auf einander folgende Componenten dieser Einwirkung in der Richtung der Tangente zu dem durch den materiellen Punkt beschriebenen Bogen hervorgebracht. Für jede Lage M dieses Punktes außerhalb der Verticale kann die Wirkung der Schwere, in Fig. 23 durch MF ausgedrückt, in zwei Kräfte, MN und MT zerlegt werden. Die eine derselben wirkt in der Richtung des Fadens, die andere in der Richtung der Tangente des Bogens BA. Die erste wird durch den Widerstand des Aufhängepunktes vernichtet, die andere sucht das Bewegliche in die Verticale zurückzuführen. Sie wird um so kleiner sein, je kleiner der Winkel MCA ist, und verschwindet vollständig in der Vertikale A. In diesem Punkt erreicht die Geschwindigkeit des Beweglichen ihr Maximum; sie ist in jedem Punkte des beschriebenen Bogens gleich der Geschwindigkeit, die ein freifallender Körper erlangt hat, welcher von einer

Fig. 23.



der Differenz des Niveaus zwischen diesem Punkt und dem Ausgangspunkt des Beweglichen entsprechenden Höhe herabgefallen ist.

In Folge dieser Schnelligkeit passirt das Pendel die Gleichgewichtslage und steigt auf der andern Seite so weit hinauf, als es auf der entgegengesetzten heruntergekommen ist. In dem Punkt B', der symmetrisch mit dem Ausgangspunkt B des Beweglichen ist, vernichtet die Einwirkung der Schwere die Geschwindigkeit. Das Bewegliche fällt von Neuem, beschreibt mit beschleunigter Bewegung den Bogen B'A, passirt von Neuem die Gleichgewichtslage und geht bis zu B'. Von hier aus wird das Bewegliche seine Bewegung hin und her fortsetzen und ununterbrochen oscilliren, wenn kein Hinderniß entgegentritt.

Die Zeit, welche das Pendel braucht, um aus der Lage CB in die symmetrische Lage CB' zu kommen, nennt man die Dauer einer Oscillation. Diese Zeit verändert sich mit der Amplitude der Oscillationen. Sind aber die Amplituden sehr klein, so sind ihre Variationen ohne merklichen Einfluß auf die Dauer der Oscillationen.

Die Berechnung für diese Dauer:

$$\text{(a)} \qquad t = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

π ist das Verhältniß der Peripherie zum Durchmesser (3,1415 l = die Länge des Pendels, $g = \frac{2E}{T^2}$ oder das Doppelte des im leeren Raume von einem fallenden Körper durchlaufenen Raumes.

Diese Formel zeigt, daß die Dauer der Oscillationen an einem und demselben Orte proportional der Quadratwurzel aus seiner Länge ist. Sie giebt uns ferner ein Mittel an die Hand, g oder die durch die Beschleunigung hervorgebrachte Acceleration zu bestimmen.

49. Zusammengesetztes Pendel. Die rationelle Mechanik lehrt uns die Länge des einfachen Pendels berechnen, das zu einem zusammengesetzten Pendel, dessen Masse und Gestalt man kennt, synchronisch ist.

Besteht das Pendel aus einer materiellen, an das Ende eines Fadens aufgehängten Kugel, so differirt die Länge des äquivalenten einfachen Pendels nur außerordentlich wenig von der Entfernung vom Aufhängepunkte des Fadens bis zum Mittelpunkte der Kugel. Diese Entfernung nimmt man für die Länge des einfachen Pendels an, wenn man die Formel (a) bestätigt sehen oder vermittelst dieser Formel g berechnen will.

Die Bewegungen dieses Systems sind übrigens den eben betrachteten analog.

Wenn sich die Kugel, ohne Geschwindigkeit erlangt zu haben, in der Vertikale befindet, so wird ihr Gewicht durch die Spannung des Fadens vernichtet und sie befindet sich im Gleichgewichte. Wird sie aus dieser Lage entfernt und sich selbst überlassen, so fällt sie herab und erreicht die Gleichgewichtslage mit einer Geschwindigkeit, die der Höhe, von welcher sie herabkommt, entspricht. In Folge dieser Geschwindigkeit passirt sie die Vertikale und beschreibt auf der andern Seite einen ähnlichen Bogen. Dadurch, daß sie durch die Reibung und den Widerstand der Luft von ihrer Bewegung etwas eingebüßt hat, geschieht es, daß sie nicht ganz bis zur Höhe des Ausgangspunktes emporsteigt. Die Amplituden werden immer kleiner und endlich gelangt das Pendel nach einer gewissen Anzahl von Oscillationen in die Gleichgewichtslage.

Die Berechnung zeigt, daß die Variationen der Amplitude ohne Einfluß auf den Werth t sind, so daß die nicht günstigen Verhältnisse, unter denen der Versuch angestellt wird, in keiner Weise die Wahrheit der Gesetze der Formel (a) oder die approximative Bestimmung von g beeinträchtigen.

Fig. 24.

Um das Gesetz in Bezug auf die Längen der Pendel zu bewahrheiten, nimmt man zwei Pendel von verschiedener Länge, das eine z. B. ein Mal so lang als das andere, und hängt sie an zwei Punkten einer Horizontale hinter einander auf (Fig. 24). Wenn man sie zu gleicher Zeit und in dem nämlichen Winkel aus ihrer Gleichgewichtslage entfernt, und sie zu derselben Zeit sich selbst überläßt, so findet man, daß, wenn das kürzere Pendel seine Oscillation beendigt, das längere erst die Vertikale erreicht hat, und das kürzere seine zweite Oscillation in dem Augenblicke vollendet, in welchem das längere seine erste beendigt.

50. Ermittelung der Dauer einer Oscillation. Die Dauer einer Oscillation läßt sich mit großer Annäherung aus der Anzahl N der Oscillationen deduciren, die in einem hinlänglich großen Zeitraume T gezählt worden sind; sie ist $=\frac{T}{N}$.

Der Werth von g berechnet sich durch die Formel $g = \frac{\pi^2 l}{T^2} \cdot N^2$. Auf diese Weise hat man unter der Breite von Paris g = 9,8808 Meter gefunden.

51. Länge des Sekundenpendels. Variationen. Die Länge des Sekundenpendels ist zu Paris $0{,}99^{384}$ Meter; sie nimmt mit der Breite ab und ist am Aequator nur noch 0,991 Meter.

Die Intensität der Schwere durch die Acceleration gemessen, variirt in demselben Verhältniß; sie ist am Geringsten am Aequator, nimmt mit der Breite zu und erreicht am Pole ihr Maximum.

Das Pendel verschafft uns ein leichtes Mittel, die Intensitäten der Schwere in verschiedenen Breiten und verschiedenen Höhen zu ermitteln.

Der Versuch reducirt sich auf die Bestimmung der Zeit von Oscillationen des nämlichen Pendels, oder der verschiedenen Längen synchronischer Pendel.

In dem ersten Falle läßt sich das Verhältniß von $g : g'$ durch die Gleichung $g : g' = N^2 : N'^2$, in dem zweiten Falle durch $g : g' = l : l'$ ausdrücken.

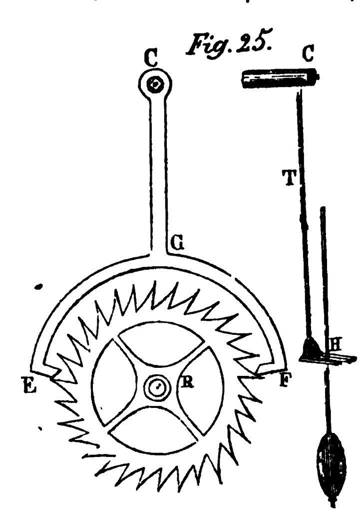
52. Gleiche Schwere aller Körper. Mit Hülfe des Pendels läßt sich ferner nachweisen, daß die Schwere gleichmäßig auf alle Substanzen einwirkt.

Man nimmt Kugeln aus verschiedenen Substanzen, aber von gleichem Durchmesser, damit der Widerstand der Luft für alle dieselbe sei, befestigt sie an Fäden von gleicher Länge und hängt sie an demselben Horizontalstabe auf. Wenn man alle diese Pendel aus ihrer Gleichgewichtslage bringt und sie zu gleicher Zeit von derselben Höhe fallen läßt, so bemerkt man, daß ihre Oscillationen zu derselben Zeit beginnen und aufhören, daß sie genau dieselben Gesetze befolgen. Die Schwere eines Körpers ist demnach von seiner Natur nicht abhängig.

53. Messen der Zeit. In Folge des Isochronismus seiner Oscillationen wird das Pendel zum Messen der Zeit benutzt. Da das Pendel seine einzelnen Oscillationen durch gleich große Bogen stets in vollkommen gleichen Zeittheilen vollbringt, so hat man nur nöthig, um ein richtiges Chronometer zu erhalten, mit dem Pendel einen Mechanismus zu verbinden, der dem Pendel bei jeder Schwingung einen Impuls ertheilt, um dadurch Reibung und Luftwiderstand zu überwinden; ferner die Zahl der vollbrachten Oscilla-

tionen, mit andern Worten der verflossenen gleichen Zeittheile, aufzuzeichnen.

54. Anwendung des Pendels in der Uhrmacherei. Dies ist der Fall bei den Pendeluhren. Das Pendel befindet sich bei denselben an einer Art Anker EGF (Fig. 25) befestigt, der an der Horizontalaxe C aufgehängt ist, welche durch das Pendel eine oscillatorische Bewegung erhält. Zwischen den beiden umgebogenen Enden des Ankers befindet sich ein Zahnrad R, die beiden Haken des Ankers E und F greifen abwechselnd in das Zahnrad ein, und da alle Theile der Maschine solidarisch sind, so wird der übrige Mechanismus in die periodisch regelmäßige Bewegung des Pendels versetzt. Fig. 25 zeigt, auf welche Weise die Bewegung des Pendels auf den Anker übertragen wird. Bei einer Pendeluhr reguliren sich Pendel und Räderwerk gegenseitig.



55. Fernere Anwendung des Pendels. Das Pendel wird ferner benutzt, um die Richtung der Schwere anzuzeigen, worauf das Senkblei beruht; es liefert den Beweis von der Unveränderlichkeit der Intensität der Schwere an demselben Orte, daß die Intensität der Schwere von dem Mittelpunkte der Erde abnimmt. Ein Pendel wird in der Nähe großer Berge von der vertikalen Richtung abgelenkt, woraus die Allgemeinheit der Anziehung unter allen Körpern geschlossen werden kann. Diese Ablenkung ist zur Bestimmung der Dichte des Erdkörpers benutzt worden. Durch das Pendel ist endlich in der neuesten Zeit ein physikalischer Beweis der Drehungsbewegung der Erde geliefert worden.

Fünftes Kapitel.

Von der Kreisbewegung und der Centrifugalkraft. Von der Wage.

56. Ursache der Variationen der Schwere. — 57. Kreisbewegung. — 58. Centrifugalkraft. — 59. Einfluß der Centrifugalkraft auf das Gewicht eines Körpers. — 60. Erscheinungen, die sich aus der Centrifugalkraft erklären lassen, und technische Anwendungen dieser Kraft. — 61. Wage. — 62. Construction einer Wage. — 63. Empfindlichkeit einer Wage. — 64. Beschreibung der Wage. — 65. Wägen eines Körpers. — 66. Prüfung einer Wage. — 67. Methode der doppelten Wägung.

56. Ursache der Variationen der Schwere. Die Variationen der Schwere auf der Erdoberfläche sind eine Folge der Abplattung der Erde an den Polen und der Drehung derselben.

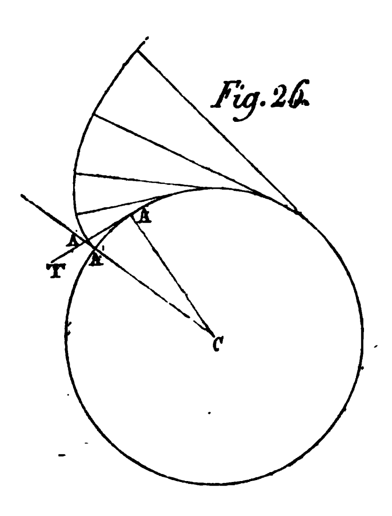
Von dem Einflusse der Abplattung kann man sich eine Vorstellung machen, wenn man mit Newton annimmt, daß die Schwere von der Anziehung des Erdkörpers gegen alle auf der Oberfläche befindliche Körper herrührt, und daß diese Anziehung im umgekehrten Verhältniß des Quadrates der Entfernung eines jeden Punktes von dem Mittelpunkte der Erde variirt. Der Radius des Erdkörpers nimmt vom Pole nach dem Aequator hin zu, die Schwere muß deshalb von den Polen nach dem Aequator hin abnehmen, umgekehrt von dem Aequator zu den Polen hin zunehmen.

Von dem Einflusse der Drehung kann man sich erst eine Vorstellung machen, wenn man die durch eine krummlinige Bewegung in den Zustand eines Körpers hervorgebrachte Bewegung kennt.

57. Kreisbewegung. Wenn ein materieller Punkt sich selbst überlassen wird, so kann er sich nur in gerader Linie und gleichförmig bewegen. Dies geschieht nach dem Gesetz der Trägheit. Wenn nun ein Bewegliches keine gerade Linie beschreibt, so kann man den Schluß ziehen, daß eine Kraft vorhanden ist, welche ihn daran hindert. Diese Kraft ist eine unaufhörliche, wenn das Bewegliche eine Curve beschreibt, denn wenn die Kraft nur einen Augenblick aufhörte, so müßte die während dieser Zeit beschriebene kleine Linie eine gerade sein.

Wir bestimmen nun die Richtung und die Intensität dieser Kraft bei dem einfachen Falle einer gleichförmigen Kreisbewegung.

V sei die Geschwindigkeit eines Punktes, der sich gleichförmig um einen Kreis des Radius R (Fig. 26) bewegt. In A angekommen, würde er, sich selbst überlassen, die Tangente AT verfolgen, seine Geschwindigkeit beibehalten und nach einer gewissen Zeit Θ den Punkt A′ erreichen, so daß:



(1) $AA' = V\Theta$.

In der Wirklichkeit durchläuft er den Bogen AA″, welcher ebenfalls gleich ist $V\Theta$.

Durch die Wirkung der Kraft hat der Körper während der sehr kurzen Zeit Θ, die Linie A′A″ beschrieben. Daraus schließen wir, 1) daß die Kraft in Bezug auf Richtung in A die Grenze hat, gegen welche die Richtung A′A″ strebt, wenn die gleichen Längen AA′, A′A″ sich unendlich vermindern; 2) daß, wenn wir mit φ die durch diese Kraft hervorgebrachte Beschleunigung bezeichnen:

$$\varphi = \lim \frac{2A'A''}{\Theta^2}$$

Demnach haben wir zu suchen 1) die Bahnrichtung von A′A″, welche die Richtung der Kraft ist; 2) der Endwerth des Verhältnisses $\frac{2A'A''}{\Theta^2}$, der die Intensität der Kraft ausdrückt.

1. Wenn wir durch jeden Punkt der Peripherie eine Tangente ziehen und auf dieselbe eine Länge auftragen, welche der des Bogens, die den Berührungspunkt vom Punkt A″ trennt, gleich ist, so erhalten wir eine Curve, welche vom Punkt A″ ausgeht, den Punkt A′ passirt und die Developpante des Kreises genannt wird. Diese Curve wird auch durch das Ende eines ursprünglich auf den Kreis C aufgewickelten, unter fortwährendem Gespanntsein sich aufrollenden Fadens beschrieben. Die Linie A″A′, welche zwei sehr nahe liegende Punkte vereinigt, ist für die Bahn die Tangente der Developpante in A″ und mit Hülfe der Geometrie läßt sich zeigen, worauf

wir hier nicht näher eingehen können, daß diese Tangente genau dem verlängerten Radius entspricht.

Die Kraft, welche die gleichförmige Kreisbewegung hervorbringt, wird also gegen den Radius hin gerichtet; sie treibt augenscheinlich das Bewegliche gegen den Mittelpunkt des Kreises hin, von welchem ihn die Trägheit zu entfernen strebt.

2. In dem Dreieck AA'A'' hat man:

$$A'A'' : A'A = \sin A'AA'' : \sin AA''A';$$

$A'A = V\Theta$; der Winkel $A'AA''$ ist gleich der Hälfte des Bogens AA', er ist gleich $\frac{AA'}{2R} = \frac{V\Theta}{2R}$, der Winkel endlich AAA'' differirt unendlich wenig von einem Rechten, denn die eine seiner Seiten hat die Richtung der Tangente, die andere die des Radius.

Die Gleichung läßt sich dann noch auf folgende Weise ausdrücken:

$$A'A'' : V\Theta = \sin \frac{1}{2}\frac{V\Theta}{R} : K.$$

$K = \sin AA''A'$ differirt sehr wenig von der Einheit.

$$A'A'' = \frac{V\Theta \sin\frac{1}{2}\left(\frac{V\Theta}{R}\right)}{K};$$

woraus:

$$2A'A'' = 2V\Theta . \frac{\sin\frac{1}{2}\left(\frac{V\Theta}{R}\right)}{K};$$

und

$$2A''A'' = \frac{V^2\Theta^2}{R} . \frac{\sin\frac{1}{2}\left(\frac{V\Theta}{R}\right)}{\frac{1}{2}\left(\frac{V\Theta}{R}\right)} . \left(\frac{1}{K}\right);$$

folglich:

$$\frac{2A'A''}{\Theta^2} = \frac{V^2}{R} . \left\{\frac{\sin\frac{1}{2}\left(\frac{V\Theta}{R}\right)}{\frac{1}{2}\left(\frac{V\Theta}{R}\right)}\right\} . \left(\frac{1}{K}\right).$$

Centripetalkraft. Wenn ein materieller Punkt sich kreisförmig und gleichmäßig bewegt, so wird er fortwährend durch eine Kraft gegen den Mittelpunkt des Kreises hingetrieben. Diese Kraft nennt man die Centripetalkraft oder Centralkraft und wird ausgedrückt durch $M\frac{V^2}{R.}$ M ist die Masse des Beweglichen, V seine Geschwindigkeit, R der Radius des beschriebenen Kreises.

58. **Centrifugalkraft.** Wenn man einen Stein an das Ende eines Fadens befestigt, das andere Ende in die Hand nimmt und



den Stein in eine kreisförmige Bewegung setzt, so wird der Faden gespannt und die Spannung ist um so größer, je schneller man den Stein bewegt (Fig. 27). Der Stein übt nun fortwährend einen Druck gegen den Faden aus, der ihn die krumme Bahn zu verlassen hindert; wenn der Faden nicht vorhanden wäre, so würde der Stein sich von dem Mittelpunkt des Kreises zu entfernen streben. Dieser Druck oder Zug, welchen der Körper ausübt, wird die Centrifugalkraft, Fliehkraft, Axifugalkraft oder Schwungkraft genannt.

Diese Kraft läßt sich aus dem Vorstehenden leicht erklären. Der geschwungene Stein beschreibt einen Kreis und wird vermöge der Centripetalkraft, welche hier durch die Wirkung des Fadens auf den Stein ausgedrückt wird, nach dem Mittelpunkt des Kreises hingetrieben. Es ist aber eine gleiche entgegengesetzte Kraft vorhanden, die sich durch die Spannung des Fadens zu erkennen giebt Letztere Kraft kann so stark werden, daß der Faden zerreißt; der Körper verfolgt dann die Tangente mit der Geschwindigkeit, die er im Augenblicke des Freiwerdens erlangt hatte, ohne daß die Centrifugalkraft, welche in diesem Augenblicke zu wirken aufhört, die Bewegung verändert.

59. Einwirkung der Centrifugalkraft auf das Gewicht. Es läßt sich leicht nachweisen, daß das Gewicht eines Körpers sich mit der Zunahme der Drehung der Erde vermindert. Nehmen wir an, wir befänden uns am Aequator.

Das Gewicht eines Körpers ist der Druck, dener auf die Unterlage ausübt. Wäre die Erde unbeweglich, so müßte dieser Druck gleich sein der Resultirenden der Anziehung auf die Moleküle des Körpers. Da aber die Erde sich bewegt, so ist der Druck gleich Differenz dieser Resultirenden und der Centripetalkraft, welche die der Rotation dieses Körpers erfordert.

Bezeichnen wir mit M die Masse des Körpers, mit MG den von der Erdanziehung herrührenden Druck mit V seine Geschwindigkeit, die der eines Punktes am Aequator gleich ist, mit R den Radius am Aequator, so haben wir für den Druck, den der Körper wirklich ausübt, d. h. für sein Gewicht am Aequator

$$MG = M\frac{V^2}{R}.$$

Man könnte setzen $V = \frac{2\pi R}{T}$, wenn T die Dauer eines Tages in Sekunden ausdrückt und für dieses Gewicht erhält man:

$$MG = M.\frac{4\pi^2 R}{T^2}.$$

60. Erscheinungen, die sich aus der Centrifugalkraft erklären lassen, und technische Anwendungen dieser Kraft. Aus der Centrifugalkraft erklärt sich 1) die Abplattung der Erde, 2) die größere Wirkung eines Hammers, wenn er einen längern Stiel hat; 3) die Wirkung des Regulators an den Dampfmaschinen; 4) die Wirkung der Schleuder; 5) das Centrifugalgeschoß von Steinheil; 6) das Centrifugalgebläse; 7) die Centrifugaltrockenmaschine (der Hydroextracteur) u. s. w.

61. Wage. Es ist schon angeführt worden, daß das Gewicht eines Körpers gleich ist der Kraft, die in einer der Schwere entgegengesetzten Richtung wirken muß, um den Körper zu verhindern zu fallen. Das Gewicht eines Körpers läßt sich also mit Hülfe einer Feder oder eines Dynamometers messen (Fig. 28). Man braucht nur die durch dieses Gewicht bewirkte Ausdehnung oder Zusammenziehung mit der Ausdehnung oder Zusammenziehung zu vergleichen, die durch das als Einheit angenommene Gewicht hervorgebracht wird.

Fig. 28.

Vergleichung der Gewichte; Grammengewicht. Man ist übereingekommen, als Einheit das Gewicht eines Kubikcentimeters Wasser bei + 4° (d. h. bei derjenigen Temperatur, bei welcher das Wasser seine größte Dichte hat), den man mit dem Namen Gramm bezeichnet hat, anzunehmen. Die Metallgewichte, deren man sich beim Wägen bedient, sind Multipla oder Submultipla dieser Einheit. Die Eintheilung des Gewichts ist folgendes:

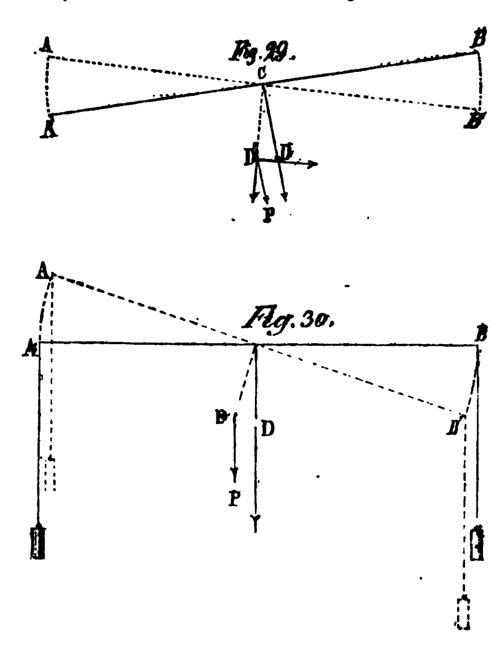
1 Gramm = 10 Decigrammen = 100 Centigrammen = 1000 Milligrammen;

1 Kilogramm (= 2 Pfd.) = 10 Hektogrammen = 100 Decagrammen = 1000 Grammen.

62. Construction der Wage. Wir beschreiben im Folgenden die gewöhnliche Wage. Dieselbe besteht im Wesentlichen aus einem

gleicharmigen Hebel, bei welchem eine an dem Ende des einen Hebelarmes wirkende Kraft nur durch eine an dem Ende des andern Hebelarmes angebrachte gleiche Kraft wirken kann. Die bei dem Hebel wirkenden Kräfte sind hier das Gewicht des Körpers und die zum Wägen dienenden Gewichte; sie müssen in der Richtung der Vertikale wirken.

Die Wage hat den Zweck, die Gleichheit dieser beiden Kräfte zu bestimmen. Stellen wir uns ein System von zwei rechtwinklig auf einander stehenden Linien AB, CD (Fig. 30 u. 31) vor, welche um



den Punkt C, der in der Mitte von AB liegt, beweglich ist. An dem Ende der Linie CD befindet sich ein schwerer materieller Punkt D, so daß die Linie CD ein Pendel vorstellt. In Folge der Verbindung beider Linien bestimmen die Oscillationen von CD um die Vertikale die Oscillationen der Linie AB. Letztere geschehen auf beiden Seiten der Horizontale und wenn CD vertikal wird, nimmt AB eine horizontale Lage an.

Wenn man an den beiden Enden des Hebels AB zwei gleiche Gewichte mittelst feinen und biegsamen Schnüren befestigt, so ändert man an den Bedingungen der Bewegung und des Gleichgewichts

nichts. Wenn man aber den Hebel aus der Gleichgewichtslage bringt, für welche AB horizontal ist, so wird derselbe längere oder kürzere Zeit oscilliren und wird endlich in Folge einer Reihe von Oscillationen mit abnehmender Amplitude seine frühere Gleichgewichtslage wieder einnehmen.

Wenn die an dem Hebel befindlichen Kräfte ungleich sind, so wird sich der Hebel nach der Seite der größeren Kraft hin neigen; dem Ueberschuß des an dem einen Hebelarm befindlichen Gewichtes wird aber bald durch das in D aufgehängte Gewicht das Gleichgewicht gehalten, so daß der Apparat nach einigen Oscillationen eine neue stabile Gleichgewichtslage annimmt, in welcher die Linie AB mit der Horizontalen α einen gewissen Winkel bildet.

Dieser Winkel ist um so größer, je größer der Gewichtsunterschied zwischen beiden an den Enden des Hebels aufgehängten Gewichten ist. Er wird durch die Formel

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{pl}{P.c}$$

ausgedrückt. Diese Formel wird aus sehr einfachen statischen Betrachtungen gefolgert; p bezeichnet die Differenz beider Gewichte, l die halbe Länge des Hebels AB, c die Länge CD und P das Gewicht des in D aufgehängten materiellen Punktes. Die Neigung des Hebels über der Horizontale nimmt in dem Maße ab, als die Gewichte sich der Gleichheit nähern; bei vollkommener Gleichheit der Gewichte ist seine Lage eine völlig horizontale.

63. Empfindlichkeit einer Wage. Für denselben Ueberschuß des Gewichtes ist der Werth von $\operatorname{tg}\alpha$ um so größer, je kleiner c ist. c darf aber nicht bis Null abnehmen, weil sonst $\operatorname{tg}\alpha$ unendlich für jeden Werth von p sein, mit andern Worten, weil sonst der Hebel sich vertikal stellen würde. Das System würde also nicht mehr der unerläßlichen Bedingung Genüge leisten, daß der Winkel zu gleicher Zeit als der Ueberschuß bei den zu vergleichenden Größen abnimmt. In diesem Falle würde die Wage indifferent sein.

Wenn c oder P sehr groß wären, l dagegen sehr klein, so würde sie nicht mehr empfindlich sein, was man mit dem Ausdruck träg bezeichnet.

64. Beschreibung der Wage. Bei der Wage ist die ideale starre Linie AB durch einen Wagebalken aus Stahl oder Messing FF′ (Fig. 31) ersetzt. Die Dimensionen des Wagebalkens müssen

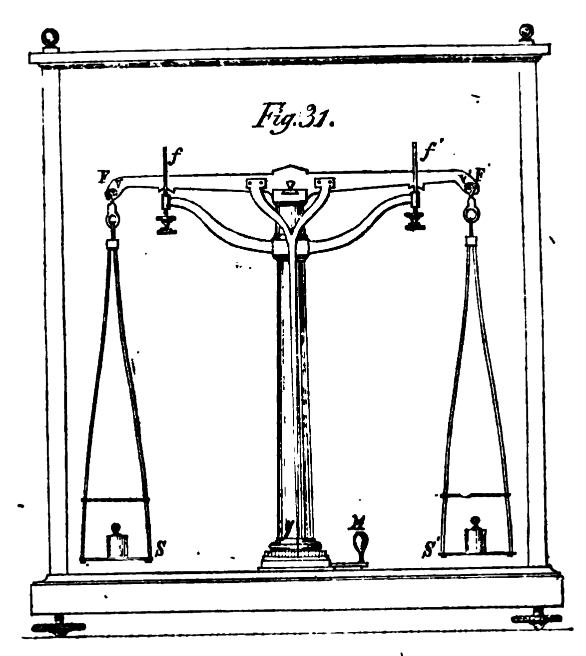


Fig. 31.

übrigens proportional der Größe der Gewichte sein, mit denen die Wage belastet werden soll. Der Wagebalken ruht mittelst einer, dazu senkrechten prismatischen Schneide auf einer harten Unterlage von Stahl oder Achat. Der Schwerpunkt des Wagebalkens liegt unter dem Unterstützungspunkt. Je näher der letztere dem ersteren liegt, desto empfindlicher ist die Wage. Das Gewicht des Wagebalkens, das in dem Schwerpunkt wirkt, bringt die Axe wieder in die Horizontallage zurück, wenn sie daraus entfernt worden ist. Die Oscillationen werden durch die Reibung und durch den Widerstand der Luft vernichtet.

Die Gewichte werden auf die beiden Schalen SS' gebracht, die vermittelst hohler stählerner Haken an prismatischen, nach oben gekehrten Schneiden VV', die an den Enden des Wagebalkens angebracht sind, hängen.

Die Neigung des Wagebalkens giebt die Ungleichheit der Gewichte an, die sich auf den Wagschalen befinden; diese Neigung wird um so geringer sein, je kleiner der Ueberschuß des einen der beiden Gewichte über das andere ist; bei vollkommener Gleichheit der Gewichte wird sie gleich Null sein.

Die Empfindlichkeit der Wage hängt von den allgemeinen Bedingungen ab, welche durch die Formel $tg\alpha = \frac{pl}{P.c}$ ausgedrückt werden, nur wird sie durch die Reibung, welche mit dem Drucke oder der Belastung zunimmt, vermindert.

Ein Zeiger xy, die Zunge genannt, der an dem Wagebalken befestigt und zu demselben senkrecht ist, bestimmt den Zustand des Gleichgewichtes. Bei genauen Wagen ist dieser Zeiger sehr lang, zeigt nach abwärts, und bewegt sich zur Bestimmung kleiner Gewichtstheile längs einer Skala, deren Ebene vertikal und parallel den Oscillationen ist, und deren Nullpunkt der Vertikale des Unterstützungspunktes des Wagebalkens entspricht. Bei genauen sogenannten chemischen Wagen ist durch eine eigenthümliche Vorrichtung ff' (gewöhnlich die Arretur genannt) dafür gesorgt, daß, wenn die Wage außer Gebrauch ist, die Aufhängeschneiden der Schalen nicht durch das Gewicht dieser letztern leiden. Diese Vorrichtung ist durch die Kurbel M beweglich; sie hat außerdem den Zweck, die Wägungen zu erleichtern und zu beschleunigen.

65. Wägung eines Körpers. Ehe man einen Körper wägt, muß man sich vermittelst einer Wasserwage überzeugen, ob die Wage vollkommen horizontal steht. Ist dies geschehen, so bringt man den zu wägenden Körper auf eine der beiden Wagschalen und legt auf die andere Gewichte auf, bis man das Gleichgewicht hergestellt glaubt. Man hebt die Arretur auf und beobachtet die Zunge. Sind die Oscillationen derselben regelmäßig und auf beiden Seiten der Vertikale symmetrisch, so kann man überzeugt sein, daß sie nach längerer oder kürzerer Zeit auf Null still stehen wird. Sind dagegen die Oscillationen von ungleicher Schwingungsweite in Bezug auf die Vertikale, so sieht man aus der Richtung der Ablenkung, ob Gewichte hinzugefügt werden müssen.

66. Prüfung einer Wage. Bei dem zu beschreibenden Verfahren wird angenommen, daß die beiden Arme des Wagebalkens gleich und unter gleichen Bedingungen befindlich sind. Man überzeugt sich davon, wenn man den zu wägenden Körper und die Gewichte auf die entgegengesetzten Wagschalen bringt. Wenn auch nach diesem Wechsel das Gleichgewicht noch besteht, so ist auf der einen wie auf der andern Seite der Vertikalebene, welche durch die Aufhängeschneide geht, Alles gleich und eine einfache Wägung ist hinreichend, das Gewicht des Körpers zu erhalten. Ist aber im Ge-

gentheil das Gleichgewicht aufgehoben, so ist die Wage nicht richtig, und um das Gewicht eines Körpers zu bestimmen, muß man die Methode der doppelten Wägung anwenden.

67. Methode der doppelten Wägung oder des Tarirens. Dieses von Borda herrührende Verfahren besteht darin, den zu wägenden Gegenstand auf die eine Wagschale, auf die andere dagegen Sand, Schrotkörner, Granaten oder ähnliche kleine Körper zu bringen, so daß die Zunge auf dem Mittelpunkt der Skala stehen bleibt. Darauf nimmt man den abzuwägenden Gegenstand von der Wagschale herab und legt an seine Stelle so viel Gewichte auf, bis die Zunge wieder genau beim Nullpunkte einspielt. Diese Gewichte, welche dem Körper unter genau denselben statischen Bedingungen substituirt werden, drücken genau sein Gewicht aus.

Auf genauen Wagen muß man 1000 Gramme bis auf ein Milligramm Genauigkeit wägen können. Die Chemie verdankt ihre jetzige hohe Stellung hauptsächlich der Wage, als der Basis derjenigen Untersuchungsmethoden, welche die größte Zuverlässigkeit besitzen.

Sechstes Kapitel.

Von der Constitution der Körper. Die Hydrostatik.

68. Constitution der Körper. — 69. Hydrostatische Principien. — 70. Niveaufläche. — 71. Druck in einer Flüssigkeit. — 72. Communicirende Gefäße. — 73. Bodendruck. — 74. Segners Wasserrad. — 75. Mittelpunkt des Druckes. — 76. Archimedisches Princip. — 77. Schwimmende Körper. — 78. Stabilität schwimmender Körper. — 79. Uebereinander befindliche Flüssigkeiten. — 80. Aequivalente Flüssigkeitssäulen.

68. Constitution der Körper. Die Körper sind Aggregate in gewisser Entfernung von einander befindlicher Moleküle (Vergl. die Porosität der Körper 17).

Feste Körper. Wenn die Moleküle relativ bestimmte Lagen haben, wenn es eines beträchtlichen Kraftaufwandes bedarf, um diese Moleküle einander zu nähern, oder von einander zu entfernen, so nennt man die aus so beschaffenen Molekülen gebildeten Körper feste. Man nimmt an, daß die Moleküle derselben der Wechselwirkung zweier Kräfte ausgesetzt sind, nämlich der Molekularanziehung (Attraction) und der Molekularabstoßung (Repulsion). Die äußere Form der Körper ist von der Wechselwirkung dieser beiden entgegengesetzten Kräfte abhängig. Die Resultirende dieser beiden Kräfte heißt die Kraft des Zusammenhangs oder die Cohäsionskraft.

Flüssige Körper. Wenn die Moleküle der Körper dagegen schon durch eine sehr geringe Kraft verrückt oder verschoben werden und folglich keine selbstständige Gestalt besitzen können, so nennt man die Körper flüssige gasförmige Körper. Wenn die Moleküle von Körpern durch äußern Druck sehr leicht einander genähert werden können, wenn die Moleküle ferner das Bestreben haben, sich von einander zu entfernen, so nennt man die daraus bestehenden Körper gasförmige oder Gase.

Die Flüssigkeiten und die Gase faßt man häufig unter dem gemeinschaftlichen Namen der flüssigen Körper zusammen und unter-

scheidet die ersteren als **tropfbar flüssige**, die letzteren als **elastisch flüssige** Körper.

Die Molekularanziehung ist bei tropfbar flüssigen Körpern sehr gering, bei elastisch flüssigen gleich Null; deshalb kann auch bei Gasen von einer Cohäsionskraft nicht gesprochen werden.

69. Hydrostatische Principien. Die Hydrostatik oder die Lehre vom Gleichgewicht der Flüssigkeiten beschäftigt sich mit der Ermittlung des Druckes, den tropfbar flüssige Körper auf die Wände des Gefässes ausüben.

1. Princip. **Die Oberfläche einer im Gleichgewicht befindlichen Flüssigkeit ist in jedem Punkte perpendicular zu den Resultirenden der Kräfte, welche auf die Moleküle einwirken.**

Wenn dem nicht so wäre, so könnte man diese Kraft in zwei Kräfte zerlegen; die eine derselben wäre zu der Oberfläche normal und würde durch die innern repulsiven Kräfte vernichtet werden; die andere Kraft wäre eine Tangente, würde das Molekül, auf welche sie einwirkt, gleiten machen; das Gleichgewicht der Flüssigkeit könnte demnach nicht durch die Hinwirkung der auf die Moleküle wirkenden Kräfte stattfinden, was der Hypothese entgegen ist.

2. Princip. **Der durch eine im Gleichgewicht befindliche Flüssigkeit auf die Wände des Gefässes ausgeübte Druck ist normal zu den Wänden.**

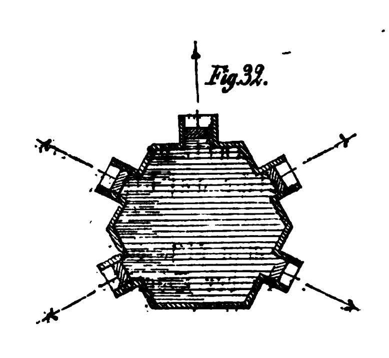
Dieses Princip ist ebenso wie das vorhergehende eine Folge des Gleichgewichts.

Wenn der durch eine Flüssigkeit auf irgend einen Punkt der Wand ausgeübte Druck nicht normal zu dieser Wand wäre, so könnte er sich in zweierlei Druck zerlegen; der eine, welcher normal auf die Wand wirkt, würde durch den Widerstand der Wand oder durch die Reaction derselben zerstört werden; der andere, in der Richtung der Tangente wirkend, würde seine ganze Kraft beibehalten. Die Flüssigkeit würde demnach nicht im Gleichgewicht sein, was der Hypothese zuwider ist.

3. Princip. Die Haupteigenschaft der Flüssigkeiten, die als Fundamentalprincip zu betrachten ist, weil sich daran eine große Anzahl von experimentellen Schlüssen knüpfen, ist folgende:

Der auf die Oberfläche einer Flüssigkeit ausgeübte Druck verbreitet sich nach allen Richtungen hin gleichmäßig.

Drückt P den auf die Oberfläche S ausgeübten Druck aus, so pflanzt sich $\frac{P}{S}$ oder der Druck, der auf jeden Theil der Oberfläche S ausgeübt wird, unverändert auf jeden Theil des Innern der Flüssigkeit und der Wände fort, so daß, um den Effect des Druckes P zu vernichten, auch jedes Theilchen der Oberfläche ein Druck $\frac{P}{S}$ wirken muß.



Um die Richtigkeit dieses Princips durch den Versuch nachzuweisen, stelle man sich ein polyedrisches Gefäß (Fig. 32) vor, dessen Seiten mit cylindrischen Mündungen versehen sind. In den Mündungen befinden sich Kolben, auf welche ein solcher Druck ausgeübt wird, daß die in dem Gefäß enthaltene Flüssigkeit im Gleichgewicht ist.

Ließe man nun auf einen der Kolben der Oberfläche S einen Druck P wirken, so könnte diesem Druck nur dadurch das Gleichgewicht gehalten werden, daß man auf die Kolben der Abtheilungen S′, S″ einen Druck von P′, P″ ein $\frac{P'}{S'} = \frac{P}{S}$, $\frac{P''}{S''} = \frac{P}{S}$ wirken ließe.

Dieser Beweis ist aber kaum durch den Versuch zu führen, da die Ermittelung des Druckes auf jeden Kolben große Schwierigkeiten darbietet. Die Wahrheit dieses Principes folgt aber a posteriori aus den daraus abgeleiteten experimentellen Schlüssen, die wir bei der Betrachtung des Druckes von Flüssigkeiten entwickeln werden.

70. Niveaufläche. Die Oberfläche einer im Gleichgewicht befindlichen Flüssigkeit ist horizontal.

Es geht dies aus dem ersten Principe hervor, nach welchem die Wirkung der Schwere vertikal ist.

Ist die Oberfläche der Flüssigkeit nur von geringer Ausdehnung, so ist dieselbe eben, bei größerer Ausdehnung ist sie sphärisch, wie uns die Oberfläche des Meeres zeigt.

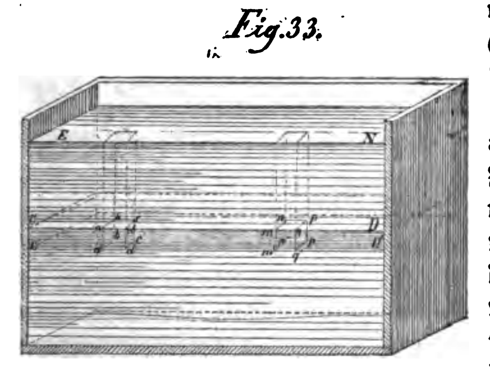
71. Druck in einer Flüssigkeit. In einer im Gleichgewicht befindlichen Flüssigkeit ist der auf eine Horizontalebene ausgeübte Druck ein constanter.

Es folgt dies unmittelbar aus dem 3. Princip.

Nehmen wir in einer im Gleichgewicht befindlichen Flüssigkeit

eine unendlich dünne Scheidewand an, welche sich zwischen zwei Horizontalebenen CD, CD' (Fig. 33) befindet. Der Druck, den ein Theil dieser Scheidewand z. B. abcda'b'c'd' auf seiner Fläche abcd erleidet, geht unverändert auf eine seitwärts befindliche Fläche desselben Elements über, von da durch die Flüssigkeit auf die seitwärts befindliche Fläche eines irgend anderen Elementes mnpqm'n'p'q', von wo aus der Druck von Unten nach Oben auf die Horizontalfläche mnpq fortgepflanzt wird. Diese Fläche hat demnach in entgegengesetzter Richtung einen gleichen Druck auszuhalten, und der Druck von Oben nach Unten auf jedes Theilchen der Fläche CD ist folglich constant. Dieser Druck wird durch HΔ und hier die Oberfläche durch SHΔ gemessen.

Fig. 33.

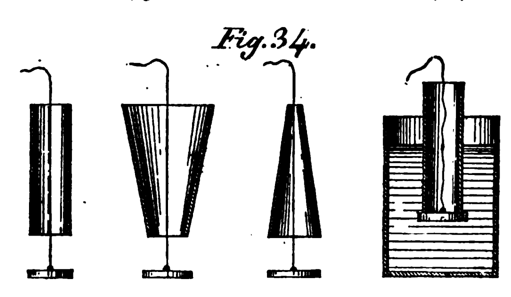


Δ ist das specifische Gewicht der Flüssigkeit, H die Tiefe der Scheidewand.

Wir nehmen an, daß die Flüssigkeit nicht zusammendrückbar und folglich ihre Dichte constant und unabhängig von dem Drucke sei; daraus geht hervor, daß der Druck bei gleichen Flächen proportional der Höhe der Flüssigkeitssäule ist.

Der Apparat, durch den das Vorhandensein des Druckes von Unten nach Oben nachgewiesen werden kann, besteht aus einer an beiden Seiten offenen weiten Röhre (Fig. 34). Der Rand des unteren Endes ist abgeschliffen, so daß die untere Oeffnung durch eine Glasplatte vollkommen verschlossen werden kann. Man bringt

Fig. 34.

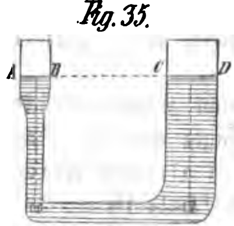


diese Röhre in ein Gefäß mit Wasser, so daß die untere Oeffnung vermittelst einer in der Mitte der Glasplatte befindlichen Schnur verschlossen ist. Wenn die Röhre in die Flüssigkeit eingetaucht wird, so haftet die Platte an der unteren Oeffnung, ohne daß es nothwendig wäre, sie zu unterstützen; daraus geht hervor, daß die untere Seite der Glasplatte einen Druck auszuhalten hat, der von Unten nach Oben ausgeübt wird.

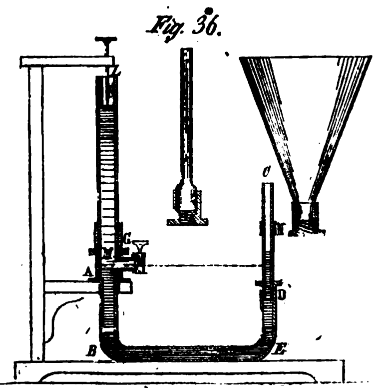
Dieser Druck wird durch das Gewicht einer Flüssigkeitssäule gemessen, welche als Basis die Basis der Glasplatte und als Höhe die Höhe der Flüssigkeitssäule von der Glasplatte an gerechnet hat. Man bemerkt den Druck, wenn man vorsichtig Flüssigkeit in die Röhre gießt; die Glasplatte wird erst in dem Augenblicke aufhören anzuhaften, wo die Flüssigkeit in der Röhre nahezu das äußere Niveau erreicht hat. Der kleine Unterschied, der zu beobachten ist, rührt von der Dicke und von dem Gewicht der Glasplatte her.

Das Resultat des Versuches ist von der Form der Röhre unabhängig; es ist dasselbe in conischen wie in cylindrischen Gefäßen.

72. Communicirende Gefäße. Wenn zwei Gefässe durch eine Röhre mit einander verbunden sind und sich in beiden Gefäßen eine und dieselbe Flüssigkeit befindet, so wird das Niveau der Flüssigkeiten in beiden Gefäßen gleich sein (Fig. 35). Solche Gefässe nennt man Communicationsgefäße oder communicirende Röhren.



73. Bodendruck. Der Druck, den eine Flüssigkeit von Oben nach Unten auf den Boden des Gefäßes ausübt, ist von der Form des Gefäßes unabhängig; er ist stets dem Gewicht einer Säule von derselben Flüssigkeit gleich, deren Basis der Boden des Gefäßes, deren Höhe die vertikale Entfernung vom Boden bis zum Spiegel der Flüssigkeit ist.

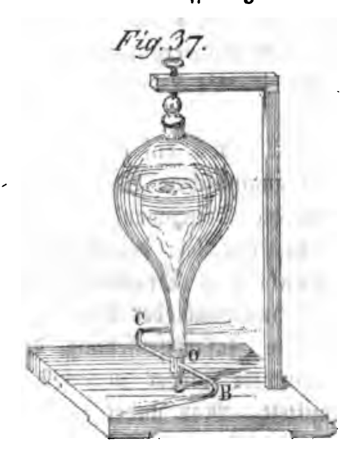


Haldats Apparat. Es läßt sich dies leicht mit Hülfe des Apparates v. Haldat nachweisen

Dieser Apparat (Fig. 36) besteht aus zwei vertikalen Röhren, die mit einander durch eine horizontale Röhre communiciren. An der einen Röhre C D ist eine verschiebbare Marke N befindlich; an der anderen kürzern Röhre A B befindet sich eine Vorrichtung G, auf welche Gefäße von verschiedener Form aufgeschraubt werden können.

Um den Versuch auszuführen, gießt man Quecksilber in die horizontale Röhre B E und in die beiden vertikalen Röhren; das Quecksilber wird in den beiden Schenkeln im Gleichgewichte sein. Man schraubt nun das Rohr M L auf G auf und füllt es mit der Flüssigkeit bis zu einem bestimmten Punkte F an. Wenn das Gleichgewicht hergestellt ist, schiebt man die Marke N herunter bis zur Oberfläche des Quecksilbers in der Röhre C D. Schraubt man darauf auf G Röhren von verschiedener Form, aber von der nämlichen Basis und füllt man sie mit Flüssigkeit bis F an, so findet man, daß die Höhe des Quecksilbers in dem Rohr C D sich nicht verändert. Daraus folgt, daß der Druck, der auf diese Weise auf den Boden ausgeübt wird, unabhängig von der Quantität der Flüssigkeit ist, und sich nur nach der Höhe der Flüssigkeitssäule, sowie nach der Flächengröße des horizontalen Bodens richtet.

74. Segners Wasserrad. In einem mit Wasser angefüllten Gefäße bleibt Alles in Ruhe, weil jeder Druck durch einen vollkommen gleichen, aber entgegengesetzten aufgehoben wird. Wird aber die Wand des Gefäßes an irgend einer Stelle durchbohrt, so fließt das Wasser daselbst aus und der Druck ist hinweg genommen, während das der Oeffnung diametral gegenüberliegende Stück der Wand noch genau den nämlichen Druck auszuhalten hat als vorher. Das Gefäß wird sich daher in einer Richtung, welche der des ausfließenden Wasser entgegengesetzt ist, fortbewegen müssen. Dies lehrt die Erfahrung an Segners Wasserrad (Fig. 37). Dasselbe besteht aus einem Gefäße, welches um eine vertikale Axe beweglich ist. Am Boden des Gefäßes befinden sich zwei horizontale Röhren O B und O C, die mit Ausflußöffnungen nach einer Seite hin versehen sind. Wenn das Gefäß mit Wasser gefüllt wird,



so dreht es sich in einer, der Richtung des ausfließenden Wassers entgegengesetzten Richtung. Das Ausströmen der Flüssigkeit bewirkt also eine Reaction (einen Seitendruck).

Darauf beruhen ferner die Turbinen und das Althaus'sche Reactionsrad. Bei den ersteren, welche jetzt häufig anstatt der Wasserräder Anwendung finden, fließt das Wasser durch gekrümmte Kanäle ab, die um den untern Theil des Gefäßes einen Kranz bilden. Bei der Fourneyron'schen Turbine dreht sich dieser Kranz in einem zweiten feststehenden Kranze, dessen Kanäle in entgegengesetzter Richtung gekrümmt sind. Bei dem Althaus'schen Reactionsrad wird das Wasser von Unten in die Ausflußöffnungen geleitet, damit die Axe des Rades ein geringeres Gewicht als bei dem Segner'schen Wasserrad zu tragen habe.

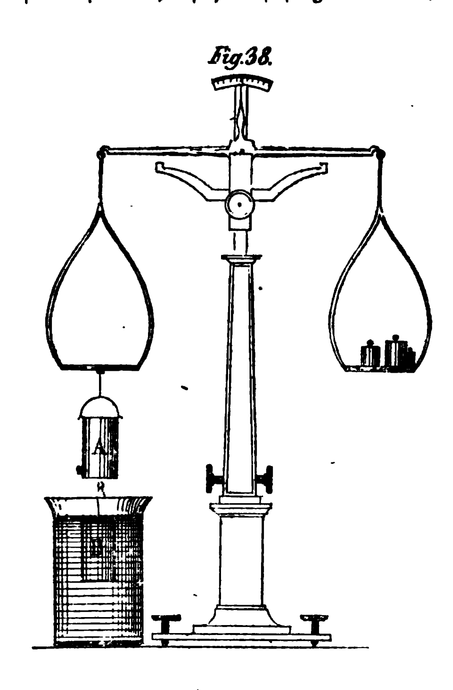
Ebenso wie ausströmende Flüssigkeiten eine Reaction erzeugen, ebenso wird auch durch ausströmende Gase eine Reaction erzeugt. Daraus erklärt sich das Steigen der Raketen (cylindrischer Hülsen, die mit einem Gemenge von Pulver und Kohle gefüllt sind und an dünnen Holzstöcken befestigt werden; man bringt sie dadurch zum Steigen, daß man sie nach abwärts gekehrt an einem Pfahle aufhängt und anzündet. Die entstehenden Gase treiben durch Reaction die Rakete nebst dem Holzstabe senkrecht in die Höhe), die Bewegung der Feuerräder, das Stoßen der Schießgewehre, das Zurücklaufen der Kanonen beim Abfeuern u. s. w.

75. Mittelpunkt des Druckes. Der durch eine Flüssigkeit auf jedes Theilchen der Oberfläche ausgeübte Druck wird im Allgemeinen durch $s h \delta$ ausgedrückt, wenn man mit s die Oberfläche des Theilchens, mit h die Entfernung des Schwerpunktes dieses Theilchens von der Oberfläche der Flüssigkeit, mit δ die Dichte der letzteren bezeichnet.

Die Resultirende dieses verschiedenen Druckes auf einen Theil der Wand kann im Allgemeinen nur auf analytischem Wege ermittelt werden. In dem Falle, in welchem die Seitenwand eben ist, sind die Kräfte, welche man zusammensetzt, parallel; der Angriffspunkt ihrer Resultante heißt Mittelpunkt des Druckes. Der Mittelpunkt des Druckes ist unter dem Schwerpunkt der Wand.

76. Archimedisches Princip. Die Zusammensetzung des Druckes, den ein in eine Flüssigkeit getauchter Körper zu erleiden hat, wird nach denselben Principien ermittelt. Man findet 1) daß die Resultirende aus dem horizontalen Drucke gleich Null

ist; 2) daß die Resultirende aus dem horizontalen Drucke gleich dem Gewicht der Flüssigkeit ist, welche durch den Körper verdrängt wird, die Richtung derselben ist vertikal nach Unten, nach Oben. Der Angriffspunkt derselben ist der Schwerpunkt des Körpers. Das Vorstehende wird gewöhnlich auf folgende Weise ausgedrückt: Ein in irgend eine Flüssigkeit eingetauchter Körper verliert von seinem absolutem Gewichte gerade so viel, als das Volumen Flüssigkeit wiegt, das durch den eingetauchten Körper verdrängt wird. Die Richtigkeit dieses von Archimedes aufgestellten Principes läßt sich auf folgende Weise nachweisen:



An eine der beiden Wagschalen einer Wage hängt man zwei gleiche Cylinder übereinander auf (Fig. 38), von welcher der eine B massiv, der andere A hohl ist. Man bringt sie durch auf die andere Wagschale aufgelegte Gewichte in's Gleichgewicht. Darauf bringt man den Cylinder B in ein mit einer Flüssigkeit angefülltes Gefäß. Sogleich ist das Gleichgewicht zerstört und der Wagebalken neigt sich nach der Seite hin, auf welcher sich die Gewichte befinden. Man kann das Gleichgewicht wieder herstellen, wenn man den leeren Cylinder bis an den Rand füllt.

Bezeichnet man mit V das Volumen eines Körpers, mit Δ seine Dichte, mit δ die Dichte der Flüssigkeit, in welche der Körper getaucht worden ist, so wirken auf den Körper zwei entgegengesetzte Kräfte ein, nämlich eine Kraft, welche seinem Gewichte $V\Delta$ gleich ist und ihn zum Sinken veranlaßt, ferner eine Kraft, welche dem Gewichte der verdrängten Flüssigkeit $V\delta$ gleich ist, durch welche der Körper zu steigen strebt. Wenn diese beiden Kräfte direct entgegen-

gesetzt sind, so wird sich der Körper, ohne sich zu drehen, in der Richtung der größern Kraft bewegen; ist dies nicht der Fall, so wird sich der Körper drehen, bis die Richtung der beiden Kräfte nach denselben Graden hingeht.

Ist $\Delta > \delta$, so wird der Körper nach dem Boden des Gefäßes zu mit beschleunigter Geschwindigkeit sinken, in Folge der Kraft $V(\Delta - \delta)$.

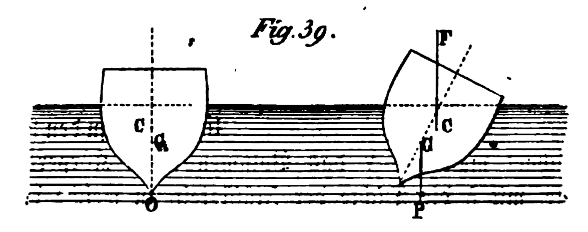
Ist $\Delta = \delta$, so wird der Körper in allen Lagen im Gleichgewichte sein.

Ist endlich $\Delta < \delta$, so wird der Körper auf die Oberfläche der Flüssigkeit steigen und darauf schwimmen.

77. Schwimmende Körper. Damit ein in einer Flüssigkeit befindlicher Körper im Gleichgewicht sei, ist es erforderlich, daß sein Gewicht genau so viel, als das der verdrängten Flüssigkeitsmasse betrage, daß ferner der Schwerpunkt der Flüssigkeit und der des eingetauchten Körpers in einer und derselben Vertikallinie liege. Man sagt in diesem Falle der Körper schwimmt.

78. Stabilität schwimmender Körper. Das Gleichgewicht eines schwimmenden Körpers wird stabil sein, wenn der Schwerpunkt des Körpers unter dem Schwerpunkt des eingetauchten Theiles liegt, denn, nimmt man an, der Körper sei unendlich wenig aus seiner Gleichgewichtslage gebracht worden, so werden die beiden Kräfte, welche auf den Körper einwirken, ihn in die Gleichgewichtslage zurückzuführen streben.

Es geht dies deutlich aus der Fig. 39 hervor. Die Linie CGO ist eine symmetrische Axe des Körpers, G der Schwerpunkt



desselben, C der Schwerpunkt des Volumens Flüssigkeit, welches durch den Körper verdrängt worden ist. Nimmt der Körper eine geneigte Lage an, so bleibt der Schwerpunkt G in der Axe, der Schwerpunkt des Volumens geht nach der Seite hin, nach welcher

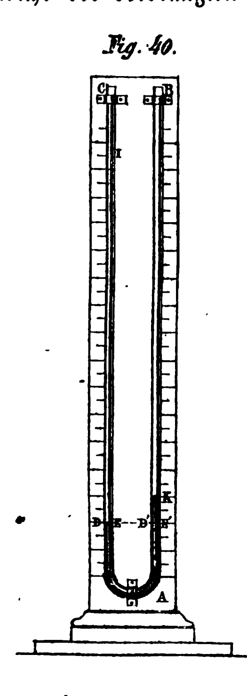
der Körper geneigt ist und die beiden Kräfte GP und CF, von denen die eine von Oben nach Unten, die andere von Unten nach Oben wirkt, suchen den schwimmenden Körper in seine vorige Lage zurückzubringen.

Hieraus erklärt sich die Nothwendigkeit des Ballastes der Schiffe, schwerer Körper (wie des Quecksilbers, Schrotes 2c.) im unteren Theile der Aräometer u. s. w.

79. Uebereinander befindliche Flüssigkeiten. Wenn mehrere Flüssigkeiten, welche ohne chemische Einwirkung aufeinander sind, mit einander gemengt werden, so trennen sich die Flüssigkeiten beim ruhigen Stehen und lagern sich übereinander, je nach ihrer Dichte, so daß die dichteste Flüssigkeit die unterste Schicht bildet.

Es folgt dies aus dem Archimedischen Principe. Auf ein in einer Flüssigkeit befindliches Molekül einer flüssigen Masse wirken zwei Kräfte ein, die eine Kraft, welche seinem Gewicht gleich ist, strebt das Molekül nach dem Boden zu zu bewegen, die andere Kraft, die das Molekül nach Oben zu bewegen strebt, ist dem Gewicht der verdrängten Flüssigkeit gleich. Das Molekül kann sich demnach nur im Gleichgewicht befinden, wenn die Dichte der Flüssigkeit der seinigen gleich ist. In einer jeden andern Flüssigkeit muß das Molekül steigen oder sinken, je nachdem seine Dichte kleiner oder größer, als die der Flüssigkeit ist. Die homogenen Moleküle müssen sich demnach vereinigen und Schichten bilden, welche nach der Dichte auf einander gelagert sind.

Fig. 40.



80. Aequivalente Flüssigkeitssäulen. Wenn man in eine zweischenklige Röhre (Fig. 40) Quecksilber und darauf Wasser bringt, so bleiben beide Flüssigkeiten getrennt. Mißt man die Höhe der Wassersäule über DE, als der Trennungsfläche beider Flüssigkeiten, und die Höhe der Quecksilbersäule in dem Schenkel AB über derselben Horizontalebene, so wird man finden, daß diese Höhen sich umgekehrt wie die Dichten beider Flüs-

sigkeiten verhalten. Dieses Gesetz läßt sich übrigens auch aus den vorhergehenden Principien deduciren, wenn man in Erwägung zieht, daß für eine Horizontalebene wie für DE und D'E' und für jede darunter befindliche Horizontalebene der Druck für jede Einheit der Oberfläche constant ist. Auf DE wird sie ausgedrückt durch $H\triangle$, auf D'E' durch $H\triangle$, demnach ist $H\triangle = H'\triangle'$ oder $H:H' = \triangle':\triangle$. $\triangle$ und $\triangle'$ sind die dichten, H und H' die entsprechenden Höhen beider Flüssigkeiten, die sich das Gleichgewicht halten.

Siebentes Kapitel.

Vom specifischen Gewichte.

81. Vergleichung der Dichtigkeiten. Unter dem specifischen Gewichte einer Substanz versteht man, wie schon erwähnt, das Gewicht dieser Substanz unter der Einheit des Volumens. Aus dieser Erklärung folgt, daß die Vergleichung des specifischen Gewichts zweier Körper auf die Bestimmung ihrer Gewichte bei gleichem Volumen reducirt wird.

Die Substanz, deren specifisches Gewicht bei der Bestimmung flüssiger und fester Körper als Einheit genommen wird, ist das Wasser, bei gasförmigen Körpern die atmosphärische Luft.

82. Dichte oder specifisches Gewicht fester Körper. Um das Gewicht eines Volumen Wasser zu finden, das dem Volumen eines festen Körpers gleich ist, bedient man sich eines Fläschchens (Fig. 41) mit weiter Oeffnung, welches mit eingeriebenem Glasstöpsel verschlossen ist. Der Stöpsel ist einem umgekehrten Trichter ähnlich und ist in der Richtung der Axe durchbohrt, so daß ein Kanal entsteht, durch welchen die überschüssige Flüssigkeit austreten kann.

Fig. 41.

Das Fläschchen wird mit reinem Wasser angefüllt. Nachdem es mit dem Stöpsel verschlossen worden ist, bringt man es auf die Wagschale neben dem festen Körper, dessen Dichte bestimmt werden soll, und stellt das Gleichgewicht durch auf die andere Wagschale aufgelegte Körper her. Wenn die Zunge der Wage vertikal steht, entfernt man das Fläschchen und den festen Körper von der Wage, nimmt den Stöpsel hinweg und bringt den Körper vorsichtig in das Flacon.

Nachdem das Fläschchen mit dem Stöpsel verschlossen und außen sorgfältig gereinigt worden ist, bringt man es von Neuem auf die Wagschale und legt auf die andere Schale Gewichte, bis das Gleichgewicht hergestellt ist. Diese Gewichte geben das Gewicht eines Volumen Wasser an, das dem des Körpers gleich ist.

p drücke dieses Gewicht aus, P das absolute Gewicht des Körpers, so ist $\frac{P}{p}$ das Verhältniß der Dichte des festen Körpers und des Wassers.

Poröse Körper. Wenn der Körper sehr porös ist und Luft enthält, so ist es wesentlich, nachdem derselbe in das Fläschchen gebracht worden ist, letzteres im unverschlossenem Zustande einige Zeit unter dem Recipienten einer Luftpumpe stehen zu lassen. Wird diese Vorsichtsmaßregel unterlassen, so bestimmt man das Gewicht des durch den Körper verdrängten Wassers zu hoch und das specifische Gewicht des Körpers zu niedrig.

Leichte Körper. Um das specifische Gewicht von festen Körpern zu erfahren, welche specifisch leichter sind als Wasser und demnach auf demselben schwimmen, befestigt man dieselben, nachdem sie in der Luft gewogen worden sind, vermittelst eines feinen Drahtes an ein Stück Metall, das groß genug ist, um sie mit unter das Wasser zu ziehen. Darauf bestimmt man den Gewichtsverlust, den das Metall allein erleidet und zieht diesen von dem Verluste ab, welchen das Metall und der Körper zusammen erleiden, und erfährt dadurch den Gewichtsverlust, den der Körper allein erleidet.

Lösliche Körper. Sind die Körper, deren specifisches Gewicht bestimmt werden soll, in Wasser löslich, so nimmt man anstatt des Wassers eine Flüssigkeit, in welcher der Körper unlöslich ist, z. B. Weingeist, Terpentinöl, Steinöl u. s. w. und verfährt übrigens ganz auf dieselbe Weise, nur mit dem Unterschiede, daß man die durch Division erhaltene Zahl mit dem specifischen Gewichte der Flüssigkeit multiplicirt.

Da das Volumen der Körper mit der Temperatur variirt, so ist es bei diesen Versuchen unerläßlich, die Temperatur der Flüssigkeit in dem Augenblicke zu kennen, in welchem der Körper eingetaucht wird. Am einfachsten ist es, wenn beide Körper die nämliche Temperatur besitzen.

83. Dichte oder specifisches Gewicht flüssiger Körper.

Um die Dichte einer Flüssigkeit mit der des Wassers zu vergleichen,

nimmt man ein Fläschchen, tarirt es und bestimmt genau das Gewicht Wasser, welches es bei einer bestimmten Temperatur aufnehmen kann. Dieses Gewicht wird notirt. Darauf bestimmt man auf gleiche Weise, wie viel das Fläschchen von der zu prüfenden Flüssigkeit zu fassen vermag. Jenes Gewicht verhält sich zu diesem Gewicht, wie das specifische Gewicht des Wassers zu dem der zu prüfenden Flüssigkeit.

Fig. 42.



Das hierzu angewandte Fläschchen (gewöhnlich ein sogenanntes Tausendgranfläschchen) ist dem ähnlich, das zur Bestimmung des specifischen Gewichts fester Körper angewendet wird. Außerdem wendet man auch ein Fläschchen (Fig. 42) an, das mit einem trichterförmigen Halse mit weiter Oeffnung versehen ist. Ein Feilstrich am Halse bezeichnet das Volumen, mit welchem man operirt.

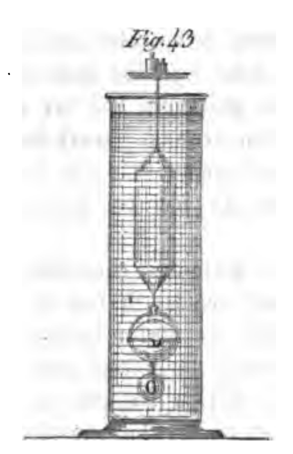
84. Bestimmung des specifischen Gewichts vermittelst der hydrostatischen Wage. Das zweite Verfahren der Bestimmung des specifischen Gewichtes gründet sich auf das archimedische Princip.

Feste Körper. Man hängt den zu untersuchenden Körper mittelst eines feinen Fadens an der Wagschale auf, stellt das Gleichgewicht durch Auflegen von Gewichten auf die andere Wagschale her und taucht darauf den Körper in ein mit Wasser angefülltes Gefäß. Der Gewichtsverlust giebt das Gewicht eines dem seinigen gleichen Volumens Wasser an (Fig. 38).

Flüssigkeiten. Man bestimmt die Gewichte gleichen Volumens einer Flüssigkeit und Wassers, indem man in beide denselben festen Körper taucht, der sich an der untern Seite der Wagschale befestigt befindet. Der Gewichtsverlust in beiden zeigt die Gewichte gleichen Volumens der beiden Flüssigkeiten an.

85. Volumen-Aräometer. Anstatt der hydrostatischen Wage kann man sich auch zur Ermittelung des Gewichtsverlustes, den ein Körper in Wasser erleidet, der Aräometer oder Senkwagen bedienen.

Ein Aräometer mit constantem Volumen, welches unter dem Namen des Aräometer (Hydrometer) von Nicholson (Fig. 43) bekannt ist und zur Bestimmung des specifischen Gewichtes fester Körper benutzt wird, besteht aus einem hohlen kegelförmig zugespitzten


Fig. 43

Cylinder von Blech oder Glas, einer auf dem oberen Drahte bestigten Schale und einem an dem unteren Drahte hängenden Kegel, an welchem eine vertiefte Schale B befindlich ist. G ist ein unter der Schale B befindliches Gewicht. Das Instrument schwimmt aufrecht im Wasser und ist so schwer, daß es ungefähr bis zur Hälfte eingetaucht ist.

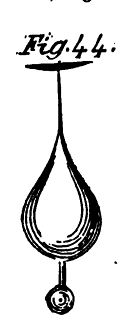
Um das specifische Gewicht eines Körpers vermittelst dieses Instrumentes zu bestimmen, bringt man es in destillirtes Wasser und legt auf die obere Schale Gewichte auf, bis es zu einem genau bezeichneten Theilstriche zwischen der Schale und dem Cylinder einsinkt. Darauf entfernt man die Gewichte von der Schale, bringt dafür den Körper darauf und setzt so viel Gewichte hinzu, bis der Körper wieder zum Theilstriche einsinkt. Die Differenz der Gewichte giebt uns das absolute Gewicht des Körpers.

Denn wir haben die Gleichungen:

$$V\delta = \pi + P, \quad V\delta = \pi + p + x \quad \text{woraus} \quad x = P = p.$$

V ist das Volumen des Aräometers bis zum Theilstrich, π sein Gewicht, P das zuerst in die Schale gebrachte Gewicht, p das zu dem Körper gesetzte Gewicht, x das dieses Körpers.

Der Gewichtsverlust, welchen der Körper im Wasser erleidet, wird bestimmt, indem man den Körper aus der oberen Schale in die untere B bringt und das Gewicht notirt, das zu p gesetzt werden muß, damit das Instrument bis zum Feilstrich einsinke. Dieses Gewicht giebt den Gewichtsverlust des Körpers an.


Fig. 44.

Zur Bestimmung des specifischen Gewichtes von Flüssigkeiten wendet man dasselbe Instrument, aber ohne untere Schale an; es heißt Fahrenheit's Aräometer (Fig. 44). Man läßt das Instrument im Wasser und in der Flüssigkeit bis zum Theilstrich einsinken. Durch P, P′ seien die Gewichte ausgedrückt, welche nacheinander auf die Schale gebracht werden müssen, π ist das Gewicht des Instrumentes; die Gewichte $\pi + P$, $\pi + P'$ sind die Gewichte gleicher Volumen Wasser und Flüssigkeit.

86. Aräometer von constantem Gewichte. Das Wägen eines Körpers vermittelst des Aräometers von constantem Volumen erfordert beträchtliche Zeit. Man zieht es deshalb vor, sich zur Bestimmung des specifischen Gewichtes von Flüssigkeiten der Aräometer von constantem Gewicht zu bedienen, die man auch Volumeter nennt.

Fig. 45. Volumeter.

Das Volumeter besteht aus einer gleichförmigen Glasröhre AB (Fig. 45), an deren unterem Ende ein Cylinder C angeblasen ist, der in dem untern kugelförmigen Theile Quecksilber oder Schrotkörner enthält.

Das Instrument, das zur Bestimmung des specifischen Gewichts von Flüssigkeiten dient, die schwerer sind als Wasser (Fig. 46), muß ein solches Gewicht haben, daß es im Wasser fast ganz einsinkt. Der Punkt, bis zu welchem das Instrument in Wasser einsinkt, wird mit 100 bezeichnet. Zur Vollendung der Eintheilung bedarf es noch eines zweiten Punktes. Gay-Lussac, von welchem diese Eintheilung herrührt, stellte eine Salzlösung dar, deren Dichte $\frac{4}{3}$ von der des Wassers betrug. Das Instrument taucht in diese Lösung minder tief als in Wasser ein und zwar nur $\frac{3}{4}$ des Volumens. Da sein Gewicht ein constantes ist, so müssen die in zwei verschiedene Flüssigkeiten eingetauchten Theile des Instrumentes sich umgekehrt wie die specifischen Gewichte dieser Flüssigkeiten verhalten. Der nun so erhaltene Theilstrich wird mit 75 bezeichnet und der Raum zwischen 100 und 75 in 25 gleiche Theile getheilt; diese Theilung wird nach Unten fortgesetzt.

Fig. 46. für das specifische Gewicht von Flüssigkeiten &c.

Das Volumeter für leichtere Flüssigkeiten (Fig. 45) darf in Wasser nur bis zum Anfang der gleichförmigen Röhre einsinken. Dieser Punkt wird mit 100 bezeichnet. Um den zweiten Punkt zu bestimmen, könnte man das Instrument in eine leichte Flüssigkeit von bekanntem specifischen Gewicht tauchen; es ist aber vorzuziehen, das Instrument mit einem Bruchtheil des eignen Gewichtes zu belasten und es von Neuem in's Wasser zu tauchen. Belastet man es z. B. mit einem Viertheil seines Gewichtes, so wird es ein Volumen Wasser verdrängen, welches $\frac{4}{5}$ von dem Volumen beträgt, das ursprünglich verdrängt wurde. Dieser zweite Punkt wird nun mit 125 bezeichnet. Die Skala wird beendigt, indem man den Raum

zwischen 100 und 125 in 25 gleiche Theile theilt und diese Eintheilung nach Oben hin verlängert.

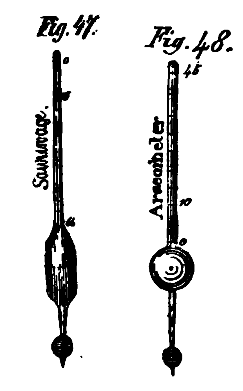
Diese Aräometer geben mithin wirkliche Bruchtheile des Volumens an, das als Einheit genommen und mit 100 bezeichnet wird; daher ihr Name Volumeter. Diese Bruchtheile umgekehrt geben die Verhältnisse der Dichtigkeiten der Flüssigkeiten, in welche das Instrument eingetaucht wird, zu der Dichtigkeit des Wassers.

87. Empfindlichkeit der Aräometer. Die Empfindlichkeit der Aräometer ist abhängig von der Dicke ihres Halses. Je dünner der Hals für denselben hohlen Körper ist, je genauer ist das Instrument, d. h. je mehr sinkt es in einer Flüssigkeit bei einer Abnahme der Dichte ein. Die Genauigkeit hat jedoch in Folge des Widerstandes der Flüssigkeiten eine Grenze, und darin liegt die Hauptursache der Ungenauigkeit der Verfahren, die auf das archimedische Princip basirt sind.

Der große Vorzug dieser Verfahren, namentlich der Aräometer von constantem Gewicht, besteht darin, daß sie schnell und leicht ausgeführt werden können. In dieser Hinsicht können sie durch keine andere Methoden ersetzt werden.

Für die Techniker, welche es nur mit der Auflösung eines und desselben Körpers zu thun haben, z. B. für die Salzsieder, die nur den Gehalt der Soole an Kochsalz zu erforschen haben, ebenso für die Spiritusproducenten ist es weit bequemer, wenn auf der Skala des Aräometers anstatt des specifischen Gewichts der denselben entsprechende Procentgehalt der Auflösung notirt ist. Nach diesem Princip construirte Aräometer heißen Procent-Aräometer. Für jede Lösung eines jeden Körpers muß ein besonderes Aräometer construirt werden. Je nach der Lösung, deren Gehalt durch das Instrument ermittelt werden soll, giebt man demselben die Namen: Soolwagen (Soolspindeln), Bierwagen, Syrupwagen, Laugenwagen, Säurewagen u. s. w.

88. Baume's Aräometer. Wenn das Aräometer zur Bestimmung des specifischen Gewichtes von Flüssigkeiten dienen soll, die schwerer als Wasser sind, so muß es so belastet sein, daß es fast ganz, in destillirtes Wasser getaucht, einsinkt. Dieser Punkt wird mit 0 bezeichnet. Darauf taucht man das Aräometer in eine Lösung von 15 Th. Kochsalz in 85 Th. Wasser. Der Punkt, bis zu welchem das Instrument nun einsinkt, wird mit 15 (Fig. 47) be-



zeichnet. Der Raum von 0 bis 15 wird in 15 gleiche Theile getheilt und diese Theilung sodann fortgesetzt. Gewöhnlich hört man bei 68° auf.

Das Aräometer für leichtere Flüssigkeiten darf in reinem Wasser nur bis zu $\frac{1}{5}$ der Länge des Halses eintauchen; dieser Punkt wird mit 10 bezeichnet (Fig. 48). Der Punkt 0 entspricht dem Einsinken des Instrumentes in eine Salzlösung aus 10 Th. Kochsalz und 90 Th. Wasser. Der Raum zwischen diesen beiden Punkten wird in 10 gleiche Theile getheilt und die Eintheilung bis zu 50 fortgesetzt.

89. Alkoholometer. Diese Instrumente sind weit nützlicher, wenn sie anstatt einer empirischen Skala eine rationelle Skala zeigen, auf welcher die Procente der in der Flüssigkeit enthaltenen Substanz angegeben sind. Eine solche Eintheilung ist z. B. die von Gay-Lussac für die Alkoholometer vorgeschlagene (Fig. 49).

Fig. 49.

Man taucht das gehörig beschwerte Instrument in absoluten Alkohol. Den Punkt, bis zu welchem es einsinkt, bezeichnet man mit 100. Darauf taucht man das Instrument in Gemenge von Wasser und Alkohol, welche 90, 80, 70 .... des letzteren, 10, 20, 30 des ersteren enthalten. Die entsprechenden Punkte bezeichnet man mit 90, 80, ...

Um die Unterabtheilungen zu erhalten, theilt man eine jede der größeren Abtheilungen (100—90), (90—80), (80—70) in zehn gleiche Theile. Diese Unterabtheilungen kann man sodann berichtigen, indem man das Instrument in Gemenge von Wasser und Alkohol in bekannten Verhältnissen taucht.

Die verschiedenen Alkoholometer, welche in der Technik Anwendung finden, werden durch Vergleichung mit einem Normalalkoholometer graduirt.

90. Bestimmung des specifischen Gewichtes von Gasen. Mittelst eines später zu beschreibenden Instrumentes, der Luftpumpe, läßt sich das specifische Gewicht von Gasen bestimmen. Man nimmt einen Glasballon, der mit einem Hahne versehen ist und auf den

Teller der Luftpumpe geschraubt werden kann. Man macht den Ballon luftleer, läßt trockne atmosphärische Luft hineintreten und bestimmt das Gewicht des Ballons. Darauf wird der Ballon möglichst luftleer gepumpt und wieder gewogen. Die Gewichtsdifferenz giebt das Gewicht der Luft, die in der Kugel enthalten war. Bestimmt man nun auf dieselbe Weise das Gewicht einer anderen Gasart, so läßt sich das specifische Gewicht derselben finden. Dabei nimmt man das specifische Gewicht der Luft bei 0°C. und 760 Millimetern Barometerstand = 1 an. Auf diese Weise hat man das specifische Gewicht von Sauerstoff = 1,105, von Wasserstoff = 0,068, von Stickstoff = 0,971, von Kohlensäure = 1,529 gefunden. — Die Bestimmung des specifischen Gewichtes von Dämpfen läßt sich auf zweierlei Weise ausführen; nach der einen Methode mißt man das Volumen des Dampfes, das von einer bestimmten Quantität Flüssigkeit erhalten worden ist, nach der andern bestimmt man das Gewicht eines gewissen Volumens Dampf. Bei diesen Bestimmungen ist die sorgfältigste Beobachtung aller nöthigen Correctionen unerläßlich.

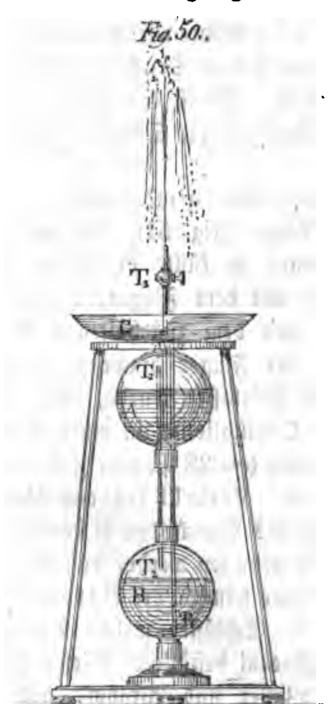
Achtes Kapitel.

Von der Aerostatik.

91. Expansivkraft eines Gases. — 92. Uebertragung des Druckes. — 93. Messen des Druckes. — 94. Versuche von Pascal. — 95. Zusammendrückbarkeit der Luft. — 96. Mariotte'sches Gesetz. — 97. Ausdehnsamkeit elastischer Flüssigkeiten. — 98. Barometer. — 99. Barometer mit unveränderlichem Niveau. — 100. Fortins Barometer. — 101. Reduction der Barometerhöhe. — 102. Reduction der Capillardepression. — 103. Heberbarometer. — 104. Barometer von Gay-Lussac. — 105. Verbesserung von Bunten. — 106. Zeigerbarometer. — 107. Barometerschwankungen.

91. Expansivkraft, Spannkraft oder Tension eines Gases. Die Expansivkraft ist nichts anderes als der Druck, den das Gas gegen eine bezeichnete Fläche ausübt. Die Elasticität der gasförmigen Körper ist der Grund, warum ein Gas auch in der geringsten Quantität den ganzen, ihm dargebotenen Raum erfüllt.

92. Uebertragung des Druckes. Der Druck, den ein Gas ausübt, pflanzt sich auf die Flüssigkeiten fort, mit denen das Gas in Berührung kommt. Dieser Druck läßt sich demnach unmittelbar durch das Gewicht einer Flüssigkeitssäule bestimmen.



Die Uebertragung des Druckes der Gase auf Flüssigkeiten und umgekehrt läßt sich leicht vermittelst des Heronsbrunnens nachweisen.

Der Heronsbrunnen (Fig. 50), der seinen Namen von seinem Erfinder Hero aus Alexandrien hat, besteht aus drei übereinander befindlichen Gefäßen CAB; das obere C ist offen, so daß die Luft ungehindert zutreten kann und hat gewöhnlich die Form einer Schale. Die beiden andern sind luftdicht geschlossen.

Sie communiciren miteinander durch eine Röhre T_2, welche von dem oberen Theil von A zu dem oberen Theil von B geht. Eine zweite Röhre T_3 geht von dem Boden des Gefäßes A bis über die Schale C hinaus und mündet in der freien Luft, eine dritte Röhre T_2 endlich, welche an beiden Seiten offen ist, verbindet die Schale mit dem untern Theil von B.

Das Reservoir A sei zum Theil mit Wasser angefüllt, B sei voll Luft. Wenn man durch die Röhre T_1 Wasser gießt, so bemerkt man, daß das Wasser in der Röhre T_3 steigt, woraus hervorgeht, daß der auf die Luft von B und A ausgeübte Druck sich auf die Flüssigkeit überträgt.

Man bemerkt ferner, daß die Höhe der Flüssigkeit in der Röhre T_3 über dem Niveau der Flüssigkeit in A gleich ist der Höhe der Flüssigkeit Tv über dem Niveau der Flüssigkeit in B, woraus deutlich die Uebertragung des Druckes der Gase hervorgeht.

93. Messen des Druckes. Die bei dem vorigen Versuch beschriebene Flüssigkeitssäule mißt nur den Ueberschuß des Druckes des inneren Gases in Bezug auf den Druck des äußern Gases. Wenn man den absoluten Druck eines Gases messen will, so muß die Röhre so beschaffen sein, daß der Druck nur auf eine der beiden Enden der Röhre wirken kann, während das andere Ende vor jedem Drucke geschützt ist.

Fig. 51.



Toricelli's Versuch. So ist der Apparat beschaffen, mittelst dessen Toricelli die Schwere der Luft nachgewiesen hat.

Toricelli bediente sich einer geraden Röhre von ungefähr einem Meter Länge (Fig. 51), die an dem einen Ende geschlossen war; er füllte die Röhre mit Quecksilber, verschloß sie mit dem Finger, drehte sie herum und brachte sie mit dem zugehaltenen Ende unter Quecksilber. Als der Finger hinweggenommen und die Röhre sich selbst überlassen wurde, blieb das Quecksilber nach einigen Oscillationen in einer Vertikalhöhe von 760 Millimeter (= 28 Pariser Zoll) über dem äußern Niveau stehen. Toricelli zog aus diesem Versuche den Schluß, daß das Quecksilber in der Röhre durch den Druck der Luft gehalten werde, daß folglich die Luft schwer sei. Er nannte seine Röhre Barometer.

94. Versuche von Pascal. Die Schlüsse, welche Toricelli aus seinem Versuche zog, wurden von Pascal bestätigt. Dieser Physiker nahm anstatt des Quecksilbers Wasser und Alkohol, und er

geobachtete bei Anwendung hinlänglich langer Röhren, daß die Flüssigkeitssäulen sich zu der Quecksilbersäule, zu derselben Zeit beobachtet, verhielten, wie das specifische Gewicht des Quecksilbers zu den specifischen Gewichten der Flüssigkeiten.

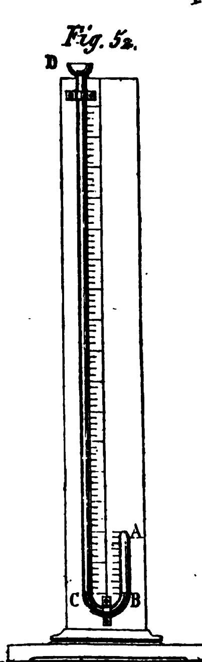
Als er ein Barometer auf dem Gipfel des Puy-de-Dôme beobachtete, fand er, wie es auch nach der Theorie vorauszusehen war, daß das Quecksilber in der Röhre in dem Verhältnisse sank, als man höher stieg. Beim Herabsteigen vom Berge hob sich das Quecksilber wieder in der Barometerröhre.

Seit den Versuchen von Toricelli und Pascal ist nun die Schwere der Luft dadurch direct nachgewiesen worden, daß man einen Glasballon zuerst leer, dann mit Luft angefüllt wog. Die Gewichtsdifferenz giebt das Gewicht der in dem Ballon enthaltenen Luft an.

95. Zusammendrückbarkeit der Luft. Die Luft ist eine elastische Flüssigkeit. Um dies nachzuweisen, braucht man sich nur des bekannten Experimentes zu erinnern, daß eine aufgeblasene Blase beim Zusammendrücken ihr Volumen verringert, daß dieselbe aber sogleich ihr früheres Volumen einnimmt, sobald der Druck aufhört.

96. Mariotte'sches Gesetz. Boyle, Townley und Mariotte haben zuerst die Beziehung zwischen dem Volumen und dem Druck eines Gases nachgewiesen; sie stellten ein Gesetz auf, das, außer in England, allgemein das Mariottesche Gesetz genannt wird, nach welchem die Volumina der Gasarten sich umgekehrt verhalten wie der Druck, dem sie ausgesetzt sind; mit andern Worten lautet dieses Gesetz: die specifischen Gewichte eines Gases stehen zu dem Druck im graden Verhältniß.

Fig. 52.



Die Richtigkeit dieses Gesetzes läßt sich leicht durch eine gebogene Glasröhre A B C D (Fig. 52) nachweisen, deren längerer Schenkel C D offen, deren kürzerer aber geschlossen ist. Sie ist graduirt und enthält die Luftmenge, welche dem Versuche unterworfen werden soll. Der Druck wird durch Quecksilber, das in den langen Schenkel gegossen wird, hervorgebracht. Der kleine

Fig. 53.

Schenkel AB wird mit trockner Luft angefüllt; zu diesem Zwecke bringt man an dem mit einem Hahne versehenen Ende A, oder auf die Weise, wie es Fig. 53 zeigt, ein mit Chlorcalciumstückchen angefülltes Rohr an; darauf gießt man etwas Quecksilber in die Röhre, so daß die Luft in den beiden Schenkeln AB und CD von einander getrennt ist, und läßt dann vermittelst einer biegsamen Röhre, die am Ende des Schenkels CD befestigt ist und mit einer Luftpumpe in Verbindung steht, trockne Luft durch die Röhre treten, welche den Wänden der Röhre alle Feuchtigkeit entzieht. Wenn das Austrocknen beendigt ist, schließt man den Hahn bei A oder schmilzt a vor der Lampe zu. Sodann umgiebt man das Rohr AB mit einem gläsernen Mantel, in welchem sich Wasser von constanter Temperatur befindet; diese Vorrichtung hat den Zweck, die bei der Compression der Gase entwickelte Wärme zu absorbiren und die Röhre vor äußern thermischen Einflüssen zu schützen. Darauf beginnt man den Versuch.

Dämpfe folgen nur dann dem Mariotte'schen Gesetze, wenn sich mit ihnen in dem nämlichen Raume nichts von der Flüssigkeit befindet, woraus sie entstanden sind. Doch bemerkt man bei Dämpfen und Gasen schon in der Nähe des Punktes, bei welchem sie in den flüssigen Zustand übergehen, eine schnellere Zunahme der Dichte, als dem angewandten Drucke entspricht. Da nun die Kräfte, welche den Uebergang der Gase in den flüssigen Zustand bedingen, nicht plötzlich auftreten, da vielmehr die Gase sich ununterbrochen dem Zustand nähern, bei welchem die Verdichtung eintritt, so hätte man hieraus schon den Schluß ziehen können, daß das Mariotte'sche Gesetz in mathematischer Schärfe unter keinen Umständen gültig ist. Regnault hat die Abweichungen in der neuern Zeit auch bei denjenigen Gasen experimentell nachgewiesen, die allgemein für permanente Gase gehalten werden. Während man früher eine Bestätigung des Mariotte'schen Gesetzes für die atmosphärische Luft bis zu einem Drucke von 27 Atmosphären gefunden zu haben glaubte, haben die Untersuchungen Regnaults schon bei 20facher Verdichtung eine merkliche Abweichung gegeben; anstatt des Mariotte'schen Ausdruckes $\frac{V}{V'} = \frac{P'}{P}$ erhielt Regnault $\frac{V}{V'} > \frac{P'}{P}$.

97. Ausdehnsamkeit elastischer Flüssigkeiten. Wenn man

Fig. 54.

bei dem vorstehenden Versuche den Druck vermindert, so dehnt das Gas sich aus.

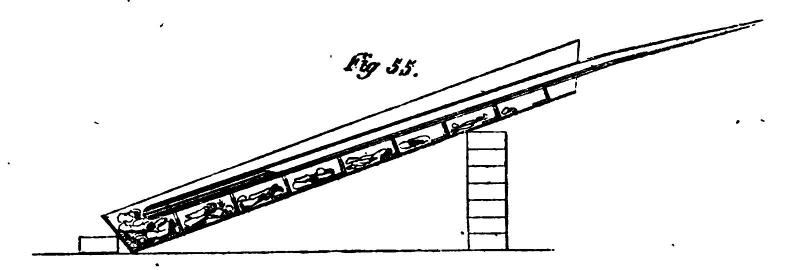
Wenn man unter den Recipienten einer Luftpumpe eine zum Theil mit Luft angefüllte Blase bringt, so bemerkt man, daß die Blase in dem Maße sich aufbläht, als der Druck der Luft sich vermindert.

Um zu beweisen, daß das Mariotte'sche Gesetz auch für einen Druck, der weniger als eine Atmosphäre beträgt, seine Gültigkeit hat, füllt man eine graduirte Glasröhre zum Theil mit Quecksilber an, so daß noch etwas Luft darin enthalten ist, verschließt das offene Ende mit dem Finger, taucht dann das untere Ende in ein cylindrisches, mit Quecksilber angefülltes Gefäß (Fig. 54) und zieht den Finger hinweg. Wird nun die Röhre so weit eingetaucht, daß das Niveau des Quecksilbers in beiden Gefäßen gleich ist, so steht die Luft in der Röhre unter dem Drucke einer Atmosphäre. Hebt man aber die Röhre, so fällt das Quecksilber in derselben und die Luft nimmt einen doppelten, drei, vierfachen Raum ein. Ist das Volumen der Luft das Vierfache von dem ursprünglichen, so steht die Luft unter dem Drucke von $\frac{1}{4}$ Atmosphäre.

98. Barometer. Es ist schon kurz der Gebrauch des Barometers angegeben worden; jetzt beschäftigen wir uns mit der Construction eines genauen Barometers.

Die Toricelli'sche Röhre giebt den Druck der Luft nur dann genau an, wenn der obere Theil, die sogenannte Toricellische Leere, in der That frei von Luft und jeder andern elastisch flüssigen Substanz ist. Wenn dem nicht so ist, wenn die Toricellische Leere kleine Mengen von Luft enthält, so giebt die Quecksilbersäule nicht den absoluten Atmosphärendruck an, da die Spannkraft der in der Toricelli'schen Leere eingeschlossenen elastischen Flüssigkeiten in Folge dieser Variationen sich verändert und auf ungleiche Weise die Resultate verändert.

Um ein gutes Barometer zu construiren, läßt man in der calibrirten Barometerröhre (Fig. 55) das Quecksilber sieden, dadurch werden alle Lufttheilchen zwischen der Röhre und dem Quecksilber verdrängt und auch die Wände der Glasröhre von der adhärirenden Feuchtigkeit befreit. Zur vollständigen Austreibung der Luft und der



Feuchtigkeit ist eine mehrmalige Wiederholung dieses Auskochens der Barometerröhre nöthig. Die Röhre wird mit ausgekochtem, noch warmem Quecksilber angefüllt und sodann mit dem untern Ende in ein Gefäß mit Quecksilber gebracht.

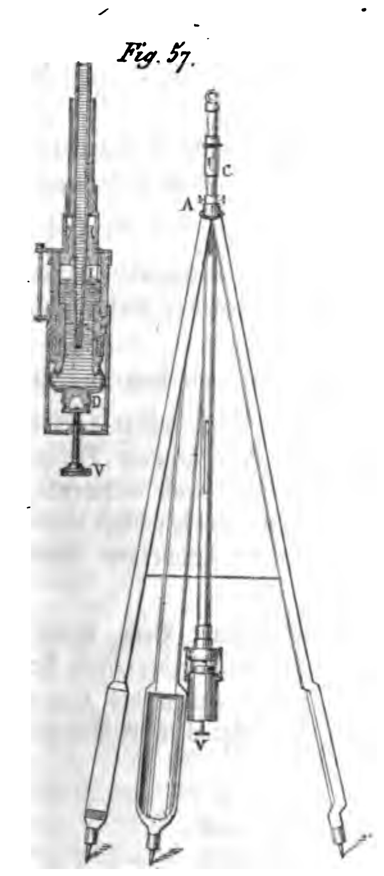
Fig. 56.

I A D C

Die vertikal in dem Gefäß stehende Barometerröhre wird mit einer Skala versehen, welche entweder in Pariser Zollen oder in Millimetern die Höhe der Quecksilbersäule über dem Quecksilber im Gefäß angiebt. Man unterscheidet bei den Gefäßbarometern das Barometer mit unveränderlichem Niveau und das Fortinsche Barometer.

99. Barometer mit unveränderlichem Niveau. Das Gefäß ABCD ist so weit, daß selbst durch größeres Sinken das Quecksilber immer noch zum größten Theile das Gefäß bedeckt. Das Quecksilber bildet demnach auf dem Boden des Gefäßes einen großen Tropfen, dessen Horizontaldimensionen sich verändern können, dessen unveränderliche Höhe aber ein constantes Niveau hervorbringt (Fig. 56). Dieses Barometer läßt sich nicht wohl transportiren.

100. Fortins Barometer. Das Gefäß besteht nur in seinen oberen Theilen aus einem Glascylinder, in seinen untern dagegen aus Metall, das gegen den Angriff des Quecksilbers geschützt ist. Den Boden des Gefäßes bildet ein Lederbeutel (Fig. 57), welcher durch die Schraube V erhöht oder erniedrigt werden kann. Oben ist das Gefäß mit einem Metalldeckel verschlossen, von welchem in dasselbe eine Stahl- oder Elfenbeinspitze I hereinragt. Diese Spitze bezeichnet den Nullpunkt der Skala und mit ihr muß die Oberfläche des Quecksilbers im Gefäße zusammenfallen. Man schraubt daher



bei jeder Messung vermittelst dieses Instrumentes die Schraube V so lange, bis die Spitze I die Quecksilberfläche eben berührt. Das Gefäß ist oben mit einem Membran verschlossen, durch welches wohl die Luft eintreten, das Quecksilber aber nicht austreten kann.

Die Abtheilungen auf der Skala des Fortin'schen Barometers geben die vertikale Distanz der beiden Niveau, d. h. die Barometerhöhe nur dann an, wenn die Axe des Instrumentes vertikal steht.

Da man das Fortin'sche Barometer häufig auf Reisen benutzt, so befindet sich bei demselben ein hölzernes Gestelle, das aus drei auseinander spreizbaren, in Charnieren A (Fig. 57) beweglichen Füßen gebildet wird und, sobald die Füße zusammengelegt sind, als ein das Barometer gut verwahrendes und bequemes Futteral dient.

Wenn dieses Instrument transportirt werden soll, so muß man vorher vollständig die Röhre mit Quecksilber füllen, damit keine Luft in die Toricelli'sche Leere dringen kann. Dies geschieht, indem man die untere Schraube V so lange dreht, bis man einen Widerstand wahrnimmt.

101. Reduction der Barometerhöhe. Die Höhe der Quecksilbersäule im Barometer ist nicht allein abhängig von der Größe des Luftdruckes, sondern auch noch von anderen Einflüssen, die zu berücksichtigen sind, wenn man aus der Höhe der Quecksilbersäule einen sichern Schluß auf die Größe des Luftdruckes ziehen will. Zu diesen Einflüssen gehört namentlich die ausdehnende Kraft der Wärme auf die Quecksilbersäule. Ferner die sogleich anzuführende Capillardepression.

Um den Fehler, der durch Temperaturveränderungen bei den

Beobachtungen der Höhe der Quecksilbersäule entstehen könnte, zu vermeiden, reducirt man alle beobachteten Höhen auf 0°, auf die Normaltemperatur.

An jedem Barometer befindet sich ein Thermometer angebracht.

Die Reduction der Barometerhöhe wird mittelst der Formel $Ho = H.\frac{s}{so}$ ausgeführt, wodurch ausgedrückt wird, daß die Höhen zweier Flüssigkeitssäulen, die sich einander das Gleichgewicht halten, sich umgekehrt verhalten wie die specifischen Gewichte dieser Flüssigkeiten.

Der Quotient $\frac{s}{so}$ ist von der Temperatur und dem Ausdehnungscoefficienten des Quecksilbers abhängig. Das Nähere darüber wird weiter unten angegeben werden. Bei einer genauen Bestimmung der Quecksilbersäule des Barometers ist es auch nothwendig, daß die Ausdehnung des Maßstabes (der Skala) berücksichtigt werde, da auch die besten Maßstäbe immer nur für die Temperatur richtig sind, bei welcher sie angefertigt wurden.

102. Correction der Capillardepression. Beim Ablesen der Quecksilbersäule des Barometers ist die Capillardepression des Quecksilbers in Anschlag zu bringen. Die Depression des Quecksilbers D beträgt bei Röhren von dem Durchmesser d in Millimetern nach Poisson:

d	D	d	D	d	D
2	4,559	6	1,148	10	0,420
3	2,902	7	0,881	15	0,124
4	2,038	8	0,717	20	0,035
5	1,505	9	0,535		

Bei Gefäßbarometern vermeidet man übrigens den durch die Capillardepression entstehenden Fehler, wenn man dem Rohre eine solche Weite giebt, daß keine Erniedrigung des Quecksilberstandes stattfinden kann.

103. Heberbarometer. Der Heberbarometer besteht aus einer heberförmig gebogenen Glasröhre, welche zwei parallele ungleiche Schenkel bildet. Der längere oben verschlossene Schenkel ist die eigentliche Toricelli'sche Röhre, der andere kürzere offene vertritt die Stelle des Quecksilbergefäßes (Fig. 58). Der Niveauunterschied des Quecksilbers in dem verschlossenen längern und dem kürzern Schenkel giebt den Druck der Luft an. Zum Messen wird ein schmaler

Fig. 58.

messingener Stab benutzt, welcher der Barometerröhre parallel und zwischen den beiden Schenkeln auf dem Brete befestigt ist.

Die beobachtete Höhe muß auf 0° reducirt und dabei die Ausdehnung des Maßstabes sowie die Capillardepression berücksichtigt werden.

Letztere Correction darf selbst bei Röhren von gleichem Durchmesser nicht vernachlässigt werden, da die Capillarität ungleich auf die beiden Niveau einwirkt.

104. Barometer von Gay-Lussac. Das so eben beschriebene Heberbarometer ist nicht transportirbar, da durch die geringste Erschütterung Luft in die Toricelli'sche Leere dringen kann. Um nun das Barometer sicher transportabel zu machen, hat Gay-Lussac das Barometer mit einer passenden Vorrichtung versehen.

Ein solches Barometer wird auf folgende Weise construirt.

Man nimmt eine Glasröhre von 10—12 Decimetern Länge und von möglichst gleichförmigem Durchmesser und theilt die Röhre von der Glasbläserlampe ungefähr so, daß der eine längere Theil $\frac{2}{3}$ der ganzen Röhre ausmacht. Diese beiden Theile AB und DH (Fig. 59) werden nun mittelst einer dünnen Röhre CED mit einan-

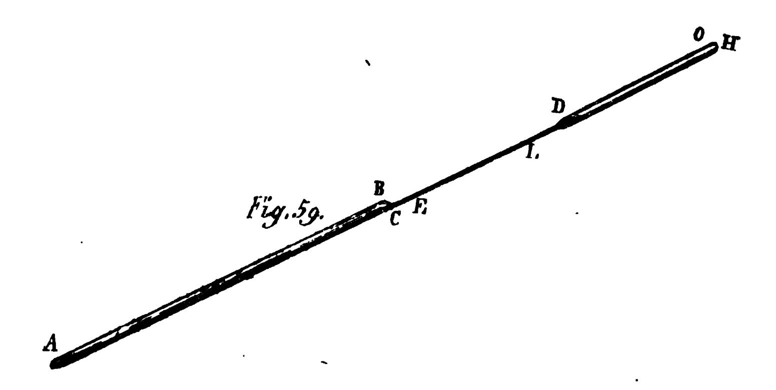


Fig. 59.

der verbunden, welche bei CE gebogen wird, so daß LDH parallel zu LE steht und der Schwerpunkt des Instrumentes in der Axe der Röhre AB ist. In dem Punkte O, ziemlich am Ende der Röhre

Fig. 60.

DH, bringt man eine kleine Oeffnung an, durch welche wohl Luft eintreten, nicht aber Quecksilber austreten kann.

Nachdem das Instrument unter Beobachtung der gewöhnlichen Vorsichtsmaßregeln mit Quecksilber gefüllt worden ist, schließt man die Röhre bei H. Fig. 60 stellt das fertige Barometer dar.

Soll das Barometer transportirt werden, so neigt man es allmählich, bis der längere Schenkel ganz mit Quecksilber angefüllt ist, und kehrt es sodann um. In dieser Stellung ist es sehr gut transportirbar und braucht nur bei der Anwendung wieder in die aufrechte Stellung zurückgebracht werden.

105. Verbesserung von Bunten. Bunten, ein pariser Optiker, hat an dem Barometer von Bunten eine wesentliche Verbesserung angebracht. Er schmilzt nämlich die Barometerröhre aus zwei Stücken zusammen, nachdem vorher das eine am unteren Ende zu einem feinen Röhrchen ausgezogen worden ist, das nach dem Zusammenschmelzen in das andere Stück etwas hereinreicht (Fig. 61). Dadurch werden kleine Luftblasen, welche möglicherweise in die Toricellische Leere emporsteigen könnten, zwischen dem ausgezogenen Röhrchen und der Wand des Röhrenstückes zurückgehalten.

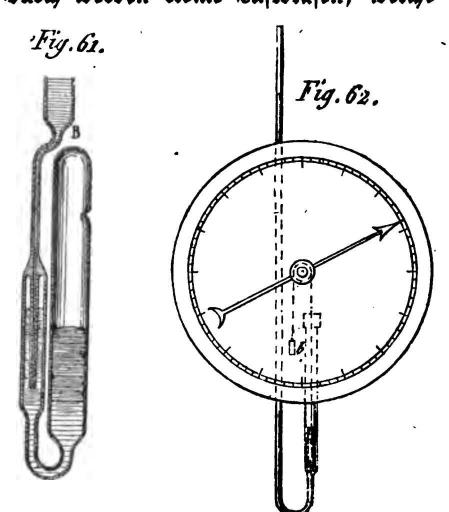


Fig. 61. Fig. 62.

106. Zeigerbarometer (Radbarometer). Dieses Instrument ist ein modificirtes Heberbarometer, in welchem die Bewegungen des Quecksilbers durch einen Zeiger auf einem entsprechend getheilten Zifferblatte angegeben werden (Fig. 62). Auf dem Quecksilber im kürzern Schenkel schwimmt ein Gewicht a mit einem Faden, der um die Welle des Zeigers geschlungen und durch ein Gegengewicht b balancirt ist, das dem ersteren das Gleichgewicht hält. Sowie das Quecksilber steigt oder

fällt, erhebt sich auch oder sinkt das auf ihm schwimmende Gewicht und treibt durch den Faden vermittelst der Welle den Zeiger herum. Dieses Instrument ist zu genauen Beobachtungen nicht brauchbar.

107. Barometerschwankungen. Durch das Barometer nehmen wir regelmäßige Schwankungen in der Atmosphäre wahr, die sich, ähnlich der Ebbe und Fluth, periodisch jeden Tag erzeugen. Am Aequator ist ein Tag ausreichend, um ihre Existenz zu constatiren. In größeren Breiten sind sie weit schwächer, und in Folge zufälliger Veränderungen in der Atmosphäre läßt sich ihre Existenz nur aus einer sehr großen Anzahl von Beobachtungen wahrnehmen.

Mittlerer Barometerstand. Wenn man das Mittel aus einer Anzahl Barometerbeobachtungen eines Tages nimmt, so erhält man den mittleren Barometerstand eines Tages. Nimmt man nun aus dem während einer großen Anzahl von Tagen gefundenen Mittel wiederum das Mittel, so findet man den mittleren Barometerstand eines Ortes. Derselbe variirt mit der Breite.

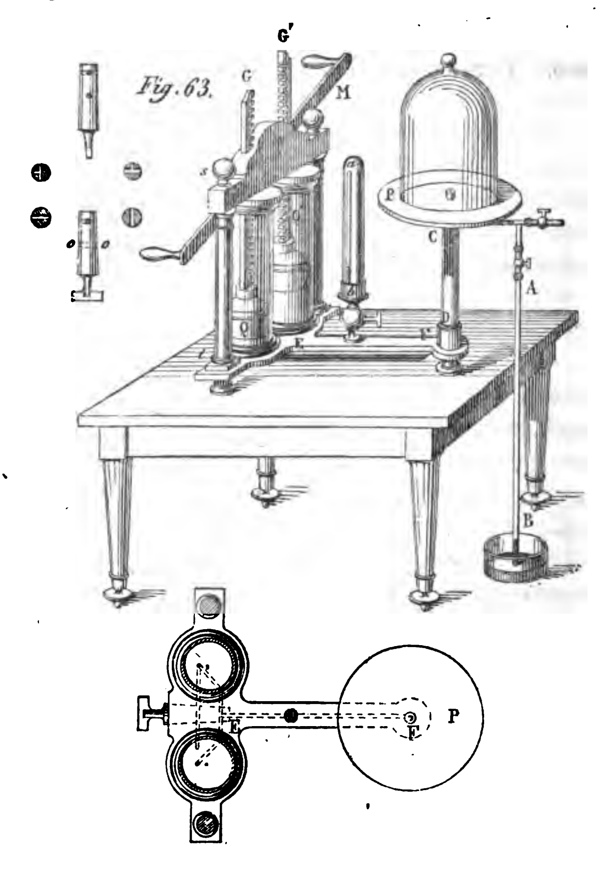
Neuntes Kapitel.

Pumpen.

108. Luftpumpe. — 109. Magdeburger Halbkugeln. — 110. Wirkung der Luftpumpe. — 111. Grenze der Verdünnung. — 112. Barometerprobe. — 113. Hähne. — 114. Compressionspumpe. — 115. Manometer. — 116. Handcompressionspumpe. — 117. Wasserpumpe. — 118. Druckpumpe. — 119. Saugpumpe. — 120. Saug- und Druckpumpe.

108. Luftpumpe. Die Luftpumpe gründet sich auf die Elasticität der Gase und auf die unbegrenzte Ausdehnung derselben bei Verminderung des Druckes. Sie hat den Zweck, in einem begrenzten Raum die Luft zu verdünnen.

Die wesentlichen Theile dieses Instrumentes sind ein messingener oder gläserner Teller P (Fig. 63), auf welchem man eine unten

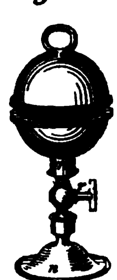


eben geschliffene Glasglocke, den Recipienten, stellt, die man mit Unschlitt am Rande bestrichen hat und sie fest drückt, damit sie luftdicht schließt. In der Mitte des Tellers befindet sich eine Oeffnung, von welcher aus eine rechtwinklig gebogene enge Röhre CD, EF in zwei hohle Cylinder, die Stiefel genannt, QQ′ führt. Diese Stiefel sind von Glas oder Messing, genau ausgeschliffen und calibrirt. In jedem bewegt sich ein aus geölten zusammengepreßten Lederscheiben bestehender Kolben. Die Kolbenstangen GG′ sind vierkantige Messingstäbe, an den schmalen Seiten mit Zähnen versehen, in welche ein Triebrad R eingreift, welches vermittelst einer Haspel M gedreht wird. Das Innere eines jeden Kolbens ist hohl und bildet eine Art von Kammer, in welcher sich ein Ventil s befindet. Dieses Ventil, aus Leder oder Taffet bestehend, öffnet sich von Unten nach Oben. Wenn also der Druck von Unten stärker ist, als der von Oben, so hebt es sich und gestattet der unter dem Kolben befindlichen Luft Austritt.

Die Communication zwischen dem Recipienten und einem jeden Stiefel wird bei jedem Kolbenzuge durch das conische Ventil t unterbrochen, das genau in eine darunter befindliche kegelförmige Höhlung des Kanals I geht und dieselbe vollständig ausfüllt. Das conische Ventil ist an einem starken Drahte befestigt, welcher durch den Kolben geht und sich darin mit einiger Reibung hin- und herschieben läßt. Bei jedem Niedergang des Kolbens muß sich das Ventil schließen, bei jedem Aufgange öffnen. Damit dies geschehen kann, muß der Draht ziemlich so lang wie der Stiefel sein, welcher letztere oben so weit bedeckt ist, daß er nur die Kolbenstange hindurchläßt. Sobald also der Kolben in die Höhe geht, stößt das obere Ende des Drahtes gegen die untere Seite des Stiefeldeckels und das Ventil wird nicht mehr die Höhlung I verschließen. Geht dagegen der Kolben herunter, so verschließt das Ventil sogleich die Höhlung und zwar so lange als der Kolben heruntergeht.

Die zweistiefligе Luftpumpe ist zweckmäßiger als eine einstiefige, weil bei der ersteren stets ein Kolben steigt, wenn der andere sinkt, das Auspumpen mithin ohne Unterbrechung fortschreitet, weil ferner der eine Kolben stets eben so stark von der äußern Luft niedergedrückt, als der aufsteigende von ihr beschwert wird.

100. Die Magdeburger Halbkugeln (auch Guericke'sche Halbkugeln genannt) können dazu dienen, auf sehr geeignete Weise den Druck der Luft darzuthun. Sie bestehen aus zwei metallenen halb-



kugelförmigen hohlen Schalen (Fig. 65), deren Ränder luftdicht aneinander passen. An der einen der Schalen befindet sich ein Rohr mn, durch welches vermittelst des Hahnes r die in den Schalen enthaltene Luft ausgepumpt werden kann. Ehe die Schalen luftleer gemacht worden sind, ist nur die Adhäsion zu überwinden, um beide Schalen von einander zu trennen; ist die Luft oben aus den Schalen durch Auspumpen entfernt worden, so ist die Kraft zweier an den Handgriffen ziehender Menschen nicht ausreichend, die Schalen von einander zu reißen.

110. Das Spiel der Luftpumpe ist leicht zu verstehen; was darüber gesagt werden wird, bezieht sich auf die zweistieflige Luftpumpe.

Angenommen der Recipient sei mit Luft angefüllt und der eine der Kolben befinde sich auf seinem niedrigsten Stande. Geht dieser Kolben aufwärts, so öffnet sich das conische Ventil und es ist die Communication zwischen dem Recipienten und dem Stiefel hergestellt; die Luft ergießt sich deshalb aus dem Recipienten in den Stiefel und der Druck der Luft vermindert sich während des Aufganges des Kolbens. Während der Kolben niedergeht, schließt sich dagegen das conische Ventil und die Communication zwischen dem Recipienten und dem Stiefel wird unterbrochen. Die in dem Stiefel enthaltene Luft wird verdichtet und hebt das in dem Kolben befindliche Ventil, sobald der Druck unter dem Kolben den Druck einer Atmosphäre übersteigt, und die Luft entweicht während des Niedergehens des Kolbens.

Während die Erscheinungen der anfänglichen Expansion und der darauf folgenden Compression in dem einen der Stiefel der Luftpumpe stattfinden, findet in dem andern Kolben das Umgekehrte statt. Dieses Spiel setzt sich so lange fort, als noch die Luft im Recipienten Spannkraft genug besitzt, um aus dem Recipienten in den Stiefel übergehen zu können; es findet aber in der Unvollkommenheit der Maschine endlich eine Grenze.

111. Grenze der Verdünnung. Selbst bei den best construirten Luftpumpen geht der Kolben nie so weit herunter, daß er fest auf dem Boden des Stiefels säße und sich kein Raum mehr zwischen dem Kolben und dem Stiefel befände. Selbst wenn der Kolben absolut auf den Boden paßte, ist doch noch Raum unter der unteren Fläche des Kolbenventils. Dieser Raum, der schädliche Raum genannt, communicirt mit der äußern Luft und enthält stets

etwas Luft von der Dichte derselben. Diese Luft dehnt sich nun in dem Volumen V des Stiefels aus, sobald der Kolben in die Höhe geht, und hat einen Druck x, welcher durch die Proportion:

$$x:H = v:V \text{ woraus } x = \frac{v}{V}H$$

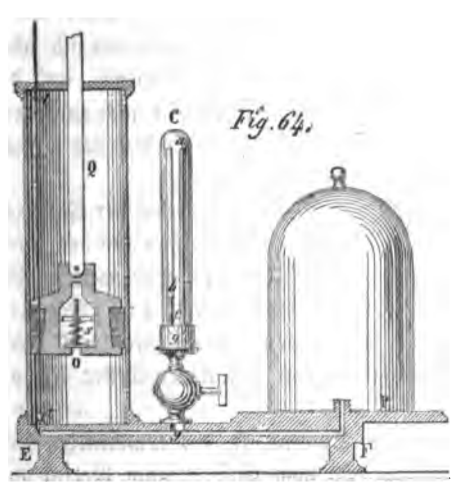
gegeben ist.

Die Luft im Recipienten, welche nur vermöge größeren Druckes in den Stiefel gelangen kann, kann demnach nie eine geringere Spannkraft besitzen.

Diese Grenze der Verdünnung ist von dem Volumen des Recipienten unabhängig.

112. Barometerprobe. Um den Grad der Verdünnung zu messen, bedient man sich der sogenannten Barometerprobe. Sie ist häufig so eingerichtet, wie Fig. 63 zeigt; sie besteht aus einer gebogenen Röhre AB, einem wirklichen Differentialbarometer, von welcher das eine Ende mit dem Recipienten communicirt; das andere Ende taucht in ein Gefäß mit Quecksilber. Die Höhe, bis zu welcher das Quecksilber in der Röhre steigt, giebt uns den Grad der Verdünnung an. Wäre man im Stande, einen vollkommen luftleeren Raum vermittelst der Luftpumpe zu erzeugen, so würde die Quecksilbersäule der Röhre gleich sein der des Barometers.

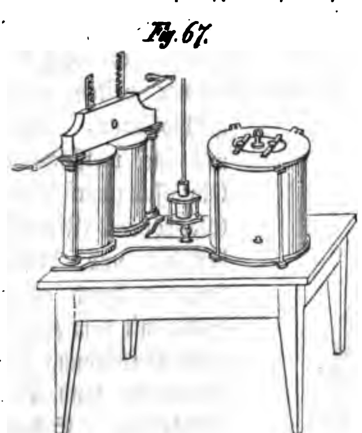
Eine andere Barometerprobe, die sich fast bei jeder Luftpumpe befindet, besteht aus einer heberförmigen Glasröhre acb (Fig. 63 und 64) von 8—12 Zoll Länge, die sich in einer weiten, oben geschlossenen, unten mit einer messingenen Einfassung versehenen Glasröhre C (Fig. 64) befindet und dessen Inneres durch einen Hahn mit dem Kanal g in Verbindung gesetzt werden kann. Der geschlossene Schenkel der heberförmigen Glasröhre ist mit Quecksilber angefüllt; in dem andern offenen Schenkel reicht das



Quecksilber bis etwas über c. Bei gewöhnlichem Luftdrucke kann das Quecksilber in dem geschlossenen Schenkel wegen der Kürze der Röhre nicht sinken; da es aber von einem Glascylinder umgeben ist, in welchem die Luft ebenso verdünnt ist, als in dem Recipienten, so muß das Quecksilber sinken, sobald die Spannkraft der Luft durch Verdünnen bedeutend verringert worden ist. Die Größe des Druckes wird sodann durch den Unterschied der Quecksilberhöhen an den beiden Skalen angegeben.

113. Hähne. Um die Verbindung zwischen dem Recipienten und der äußern Luft abzuschließen und herzustellen, bedient man sich eines Hahnes (Fig. 66), der auf eigenthümliche Weise doppelt durchbohrt ist. Er ist nämlich einmal in querer Richtung o, das andere Mal nach der Länge l durchbohrt, welche durch einen metallnen Stöpsel verschlossen und dem Stiefel zugekehrt ist, wenn der Recipient abgesperrt bleiben soll. Die quere Durchbohrung o verbindet während des Auspumpens den Recipienten mit dem Stiefel. Soll Luft in den Recipienten eintreten, so wird der Hahn so gedreht, daß die quere Durchbohrung dem Recipienten zugekehrt ist und entfernt dem Metallstöpsel.

114. Compressionspumpe. Der Mechanismus der Compressionspumpe, welche die Bestimmung hat, atmosphärische Luft in einem gegebenen Raume zu verdichten, deducirt sich leicht aus dem der Luftpumpe, unterscheidet sich aber von der letzteren dadurch, daß die Hähne oder Ventile nach entgegengesetzter Richtung hin sich öffnen und schließen.



Die Construction der Compressionspumpe ist schon aus der Zeichnung (Fig. 67) ohne weitere Beschreibung klar. Der Recipient muß von starkem Glas und durch einen Deckel und durch Schrauben an den metallenen Teller fest angedrückt sein.

115. Manometer. Um die Spannkraft der combinirten Luft zu messen, ist auf dem Kanal, der vom Stiefel zum Recipienten

geht, ein Manometer angebracht. Dasselbe besteht aus einer Mariotte'schen Röhre (vergl. Seite 68), die aus gleichen und parallelen Schenkeln gebildet ist. Der geschlossene vollkommen cylindrische Schenkel enthält Luft, welche von der Luft im Recipienten durch eine Quecksilbersäule getrennt ist. Die Luft in dem geschlossenen Schenkel hat dieselbe Spannkraft wie die äußere. Sowie aber die Verdichtung beginnt, wird die Luft durch das Quecksilber auf einen kleinen Raum zusammengepreßt.

Die durch die Elasticität der Luft bewirkte Condensation wird durch folgende Formel ermittelt:

$$h + Ho \frac{Vo}{V}$$

wobei h die Differenz der beiden Niveau in dem Manometer, Ho die Quecksilbersäule, welche dem Druck der Luft des Manometers bei dem ursprünglichen Volumen Vo und dem gegenwärtigen Volumen V das Gleichgewicht hält.

116. Handcompressionspumpe. Häufig wendet man zur Condensation der Luft in einem geschlossenen Raum eine kleine Handcompressionspumpe (Fig. 68) an, welche aus einem Stiefel besteht, in welchem ein massiver Kolben hin und her bewegt werden kann. Wenn der Kolben in dem Cylinder den höchsten Rand hat, so kann die Luft durch eine Oeffnung o in den Cylinder treten. In dem Verbindungsrohre des Stiefels mit dem Recipienten befindet sich ein Ventil, das sich nach dem Recipienten zu öffnet. Das ganze Instrument läßt sich an Apparate schrauben, in welche man Luft comprimiren will. Diese Handcompressionspumpe wird hauptsächlich benutzt, um eine Windbüchse zu laden.

Fig. 68.



117. Wasserpumpe. Die Wasserpumpen gehören im Allgemeinen zu denjenigen Maschinen, welche Wasser nach andern Stellen schaffen und es in der Regel heben. Man unterscheidet 1) Druckpumpen, 2) Saugpumpen, 3) Saug- und Druckpumpen.

Alle diese Maschinen bestehen wesentlich aus einem Cylinder, in welchem ein Kolben luft- und wasserdicht auf- und abbewegt werden kann. Durch die auf- und abgehende Bewegung wird das Wasser entweder in dem Cylinder oder in einem Seitenrohr, Steigrohr genannt, zum Steigen gebracht.

118. **Die Druckpumpe** besteht aus einem Cylinder (Fig. 69), der sich fast gänzlich im Wasser befindet und den Namen Kolbenrohr führt. Noch unter dem Unterwasser befindet sich ein Ventil, das sich nach oben öffnet. Gleich neben demselben geht seitwärts das Knierohr AS ab. Am oberen Ende des Knierohres liegt das Ventil T, das sich nach Oben öffnet. In dem Kolbenrohre kann ein massiver Kolben hin- und herbewegt werden. Das Wasser gelangt hier durch den Aufgang des Kolbens in das Kolbenrohr; beim Niedergang des Kolbens schließt sich das am untern Theile des Kolbenrohres befindliche Ventil und das Wasser tritt in das Knierohr, wo es immer höher zu stehen kommt, da das Ventil T das Zurücksteigen verhindert.

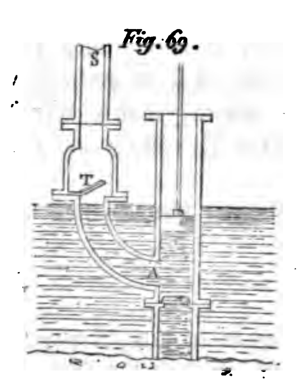


Fig. 69.

119. **Die Saugpumpe** besteht aus einem Cylinder BA (Fig. 70), Kolbenrohr genannt, an welches sich unten ein engeres Rohr CD, das Saugrohr, luftdicht anschließt. Das Saugrohr steht mit seinem untern Ende im Unterwasser (Sumpf genannt) und ist mit einem Ventil verschlossen, das sich von Unten nach Oben öffnet. Der in dem Kolbenrohre auf- und niedergehende Kolben ist in der Mitte durchbrochen und mit einem nach Oben sich öffnenden Ventile versehen.

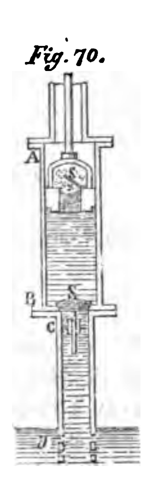


Fig. 70.

Wenn der Kolben sich auf seinem niedrigsten Stande befindet und das Saugrohr mit atmosphärischer Luft von dem Drucke der äußern umgeben ist, so wird beim Aufwärtsgehen des Kolbens das Ventil S durch den Druck der Luft, der in dem Saugrohr größer ist, als in dem Kolbenrohr, gehoben, die Luft geht in das Kolbenrohr und das Wasser steigt in dem Saugrohre.

Die Höhe, welche das Wasser in dem letzteren erreicht, addirt zu der Wassersäule, welche den innern Druck ausdrückt, ist in jedem Augenblick der Wassersäule gleich, welche dem Druck der äußern

Luft das Gleichgewicht hält. Die Höhe nimmt mit dem Steigen des Kolbens zu.

Sobald aber der Kolben zu steigen aufhört, schließt sich das Ventil des Saugrohres vermöge seines eigeuen Gewichts und die Luft findet sich in dem Kolbenrohre eingeschlossen. Geht nun der Kolben abwärts, so wird durch die zunehmende Spannkraft der darunter befindlichen Luft das Ventil des Kolbens gehoben und die Luft entweicht durch dasselbe.

Durch einen neuen Aufgang des Kolbens wird die Luft von Neuem verdünnt und folglich eine Zunahme der Höhe der Wassersäule stattfinden. Durch das Abwärtsgehen des Kolbens entweicht eine neue Quantität Luft durch denselben und dieselben Erscheinungen wiederholen sich, bis endlich das Wasser in das Kolbenrohr gelangt. Beim Abwärtsgehen des Kolbens wird durch den Druck des Wassers das Kolbenventil geöffnet, das Wasser tritt über den Kolben und wird mit demselben gehoben. Beim Steigen des Kolbens öffnet eine neue Quantität Wasser in Folge des äußern Druckes das Ventil des Saugrohres, geht in das Kolbenrohr, von da durch das Kolbenventil beim Niedergang des Kolbens über denselben 2c.

Obgleich der Theorie zufolge das Saugventil S nicht höher als 10,40 Meter über der Oberfläche des Wassers stehen dürfte, so lehrt doch die Praxis, daß diese Höhe wegen der Unvollkommenheiten der Ventile nicht über 8—9 Meter betragen darf.

Die Kraft, die zum Heben des Kolbens nothwendig ist, ist in jedem Augenblicke gleich dem Gewicht der Flüssigkeitssäule, welche als Basis den Durchschnitt des Kolbenrohrs, zur Höhe die Höhe der gehobenen Wassersäule hat.

Um dies zu bewahrheiten, betrachten wir die Pumpe zu zwei verschiedenen Zeiten: 1) während sie in dem Saugrohre die Luft verdünnt; 2) während sie das Wasser steigen macht, das sich über dem Kolben befindet.

In dem ersten Falle hat die obere Fläche des Kolbens den Druck der Atmosphäre $SH\triangle$, die untere Fläche einen Druck $S(H-x)\triangle$ auszuhalten. Die Differenz dieses entgegengesetzt wirkenden Druckes, woraus der zu überwindende Widerstand zusammengesetzt ist, $= S\triangle x$.

S ist der Durchschnitt des Kolbenrohres, H die Höhe der Was-

sersäule, welche dem Atmosphärendruck das Gleichgewicht hält, x die Höhe des Wassers in dem Saugrohr.

In dem zweiten Falle, in welchem der Kolben eine Flüssigkeitssäule von der Höhe l hebt, wird der überwindende Widerstand gemessen durch:

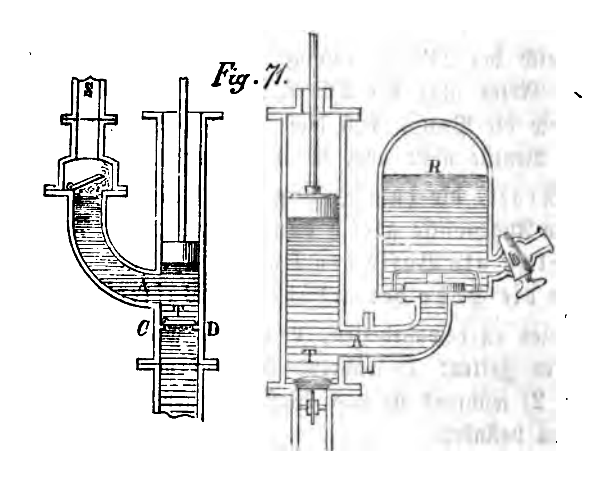
$$(SH\triangle + Sl\triangle) - S(H-y)\triangle = S(l+y)\triangle$$

y drückt die Entfernung des Kolbens vom äußern Niveau der Flüssigkeiten aus.

Um die zum Heben des Kolbens erforderliche Kraft genau zu bestimmen, muß man zu dem Widerstand das Gewicht des Kolbens und die Reibung des Kolbens an den Cylinderwänden rechnen.

Beim Herabgehen des Kolbens ist die Reibung das einzige Hinderniß, welches die bewegende Kraft zu besiegen hat; letztere wird um das Gewicht des Kolbens verstärkt.

120. Die Saug- und Druckpumpe ist der vorigen Pumpe ähnlich construirt; der Kolben ist aber nicht mit einem Ventil versehen und das Steigrohr in einer Oeffnung des Kolbenrohrs, nicht weit von dessen Base CD (Fig. 71) angebracht.



Die Verdünnung der Luft geschieht bei dieser Pumpe auf dieselbe Weise, wie bei der vorigen nur mit dem Unterschiede, daß die Luft durch das Steigrohr entweicht. In dieses Rohr wird auch das Wasser gepreßt, sobald es einmal über das Ventil des Saugrohrs gelangt ist.

Die Bedingungen der Wirksamkeit sind dieselben, wie bei den vorhergehend beschriebenen Maschinen.

Um einen ununterbrochenen Strahl des ausfließenden Wassers zu erhalten, wird das Wasser durch das Steigrohr A in ein mit Luft angefülltes Reservoir (Windkessel) R gepreßt. Dadurch wird die Luft in dem oberen Theile des Reservoirs comprimirt und der dadurch auf das Wasser ausgeübte Druck treibt das Wasser zu einer engen Oeffnung heraus, an welcher sich gewöhnlich eine gebogene Röhre (der Schwanenhals oder die Schlange) angeschraubt befindet. Dieses Princip findet bei der Feuerspritze Anwendung, bei welcher durch zwei Druckpumpen fortwährend Wasser in den Windkessel gepumpt wird.

Zehntes Kapitel.

Hydraulik.

121. Principien. Die Seite 47 angeführten Principien genügen zur Erklärung der Bewegung von Flüssigkeiten in den einfacheren Fällen. Wir wenden diese Principien zum Studium einiger in der Physik und Chemie häufig angewandten Apparate an.

122. Ausströmen von Flüssigkeiten. Toricelli's Gesetz. Wenn man in der Wand eines mit einer Flüssigkeit angefüllten Gefäßes unter dem Niveau der Flüssigkeit eine kleine Oeffnung anbringt, so strömt die Flüssigkeit mit einer Geschwindigkeit heraus, die um so größer ist, je tiefer sich die Oeffnung unter dem Niveau der Flüssigkeit befindet.

Toricelli hat für die Geschwindigkeit der Moleküle der ausströmenden Flüssigkeit für den Augenblick, in welchem sie das Gefäß verlassen, folgende Formel aufgestellt:

$$v = \sqrt{2gh}.$$

Die Geschwindigkeit des Ausströmens einer Flüssigkeit ist also unabhängig von der Dichte der Flüssigkeit und hängt nur von der Entfernung h der Oeffnung von dem Flüssigkeitsspiegel ab. Die Geschwindigkeit des Ausströmens ist der Geschwindigkeit gleich, die ein freifallender Körper, der im leeren Raum von der Höhe h herabfällt, annehmen würde.

Nach dieser Formel ist das Volumen der Flüssigkeit, die während einer gewissen Zeit t aus einem Gefäße, in welchem der Flüssigkeitsspiegel constant erhalten wird, ausströmt, gleich svt.

s bezeichnet den Durchschnitt des Gefäßes in Quadratmetern, t die Dauer des Ausströmens in Sekunden ausgedrückt.

Wenn man in die Oeffnung des Gefäßes eine von Unten nach Oben gebogene Röhre befestigt, so findet man, daß die Flüssigkeit

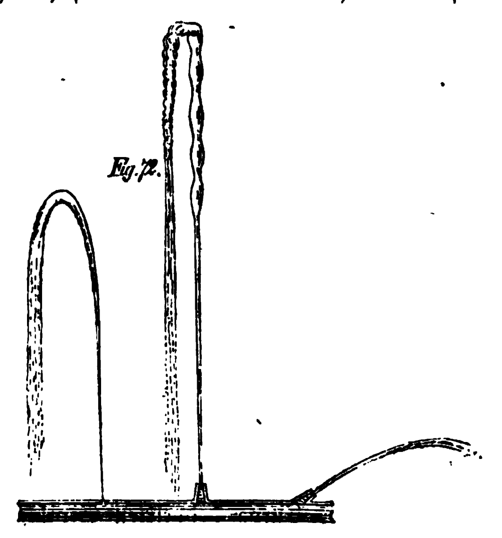
in der Röhre in die Höhe steigt und die Höhe des Flüssigkeitsspiegels in dem Gefäß erreicht.

Daraus läßt sich schließen, daß die Flüssigkeitsmoleküle an der Oeffnung eine solche Geschwindigkeit besitzen, daß sie vertikal eben so hoch steigen, als die Entfernung der Oeffnung von dem Flüssigkeitsspiegel beträgt.

Die in der Praxis erhaltenen Resultate weichen aber beträchtlich von der Theorie ab, oder mit andern Worten, die durch die Oeffnung des Durchschnitts s ausgeströmte Flüssigkeit weicht beträchtlich von dem nach Toricelli's Theorem berechneten Volumen ab. Diese Differenz schreibt man entweder einer Zusammenziehung des Flüssigkeitsstrahles, einer contractio venae zu, welche in geringer Entfernung von der Ausflußöffnung stattfinden soll, oder nach Savart dem Umstande, daß die Flüssigkeit nicht ununterbrochen, sondern in periodischen Unterbrechungen ausströmt.

Die Quantität des durch eine Oeffnung einer dünnen Wand ausgeflossenen Wassers beträgt ungefähr 0,64 der berechneten Quantität. Der Reductionscoefficient nimmt zu und nähert sich 1,00 in dem Grade, als der Durchmesser der Oeffnung abnimmt. Noch mehr nimmt er zu und kann selbst größer werden als 1,00, wenn man passende Ansatzröhren anbringt.

123. Vertikaler Wasserstrahl. Die Leitungsröhren von Springbrunnen (Fig. 72) sind communicirende Röhren mit parallelen und



ungleichen Schenkeln. Der längere Schenkel geht in das Reservoir, durch welches der Springbrunnen mit Wasser gespeist wird; das Wasser springt aus der Oeffnung des längern Schenkels. Die Höhe des vertikalen Wasserstrahles würde eben so wie in einer Röhre das Niveau der Flüssigkeit im Reservoir erreichen, wenn die verschiedenen Hindernisse der Bewegung beseitigt werden könnten.

Die Hauptursachen der Verminderung der Höhe eines vertikal aufsteigenden Wasserstrahles sind die Reibung des Wassers an der Ausflußöffnung, der Widerstand der Luft und der Stoß der Flüssigkeitsmoleküle, welche auf ihrer höchsten Höhe angelangt, durch die Wirkung der Schwere niederfallen und dadurch der Bewegung der aufsteigenden Moleküle entgegenwirken; dieser letztern Ursache schreibt man zum Theil das Ausbreiten des Strahles an seinem obern Theile zu.

Nach Versuchen von Mariotte und Bossut stehen die Differenzen zwischen den Höhen des vertikalen Wasserstrahles und den Höhen des Reservoirs fast im graden Verhältniß zu den wirklichen Höhen des Strahles.

Diese Differenzen variiren unter sonst gleichen Bedingungen mit der Gestalt und der Weite der Ausflußöffnung. Oeffnungen, perpendikulär in die Platte gebohrt, welche das Ende des Leitungsrohres verschließt, sind die günstigsten. Der Durchmesser der Oeffnung muß proportional dem Durchmesser des Leitungsrohres sein.

Man hat gefunden, daß die Quadrate der Durchmesser der Ausflußöffnungen proportional den Quadraten der Durchmesser der Röhren sind und zwar im umgekehrten Verhältnisse der Quadratwurzeln aus der Höhe in dem Reservoir.

Dadurch ist man in den Stand gesetzt, den Durchmesser einer Oeffnung zu bestimmen, welche zur Erreichung eines gewissen Effectes sich eignet.

124. Schiefer Wasserstrahl. Wenn die Axe des Strahles schief zu dem Horizonte steht, so beschreibt ein jedes der Flüssigkeitsmoleküle eine Curve, welche, wenn man den Widerstand der Luft unberücksichtigt läßt, eine Parabel ist (Fig. 72).

Diese Curve erhält man, wenn man annimmt, daß auf ein jedes Flüssigkeitsmolekül die Geschwindigkeit durch den Druck und die Acceleration durch die Schwere einwirkt. Die Amplitude des aus der Gleichung dieser Curve deducirten Strahles ist von der

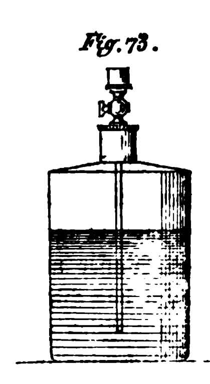
ursprünglichen Geschwindigkeit der Moleküle, d. h. von der Höhe des Wassers in dem Reservoir und von dem Winkel α, der durch die Richtung des Strahls mit der Horizontalen gebildet wird, abhängig. Sie ist gleich $2h \sin 2\alpha$. Ist $\alpha = 45^{0}$, so hat sie ihr Maximum erreicht und ist der doppelten Höhe in dem Reservoir gleich.

Die wirklichen Amplituden sind etwas geringer, als sie nach der Theorie sein sollten; es rührt dies daher, daß man nach der Theorie für die Ausflußgeschwindigkeit der Moleküle einen zu großen Werth annimmt, ferner den Einfluß der Luft vernachlässigt.

125. Wasserstrahl durch den Druck eines Gases. Es läßt sich ebenfalls ein Wasserstrahl erzeugen, wenn man den Druck, der durch die Flüssigkeit erzeugt wird, durch den Druck ersetzt, den ein Gas ausübt.

Die berechnete Höhe, bis zu welcher die Flüssigkeit steigt, ist gleich der Höhe einer Säule von derselben Flüssigkeit, welche dem Druck des Gases das Gleichgewicht hält. Diejenigen Apparate, welche auf dem angegebenen Principe beruhen und am häufigsten benutzt werden, sind der Heronsbrunnen (Vergl. S. 65) und die Heronsflasche (oder Heronsball). Letztere (Fig. 73) besteht aus einer Flasche, welche zum Theil mit Flüssigkeit angefüllt ist, in welche ein Rohr bis fast auf den Boden der Flasche herabreicht, das durch einen Hahn verschließbar ist. Comprimirt man vermittelst einer Compressionspumpe oder durch Hineinblasen von Luft die über der Flüssigkeit befindliche Luft, so übt diese einen stärkeren Druck auf das Wasser aus, als dasselbe von Außen her erfährt, es spritzt deshalb in einem Strahle aus der Oeffnung der Röhre heraus.

Fig. 73.



Dieselbe Wirkung erhält man, wenn man die umgebende Luft verdünnt, indem man die Heronsflasche unter den Recipienten einer Luftpumpe bringt und so den Druck von Außen geringer macht als den von Innen.

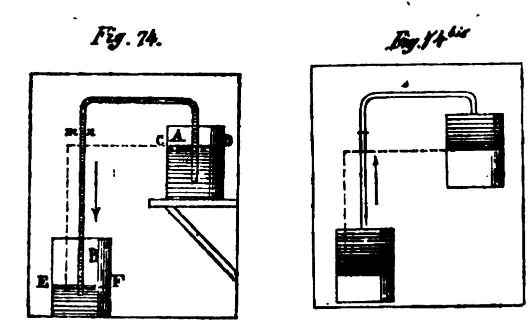
Auf demselben Princip wie die Heronsflasche beruht die Spritzflasche, eine Vorrichtung, welche in der Chemie ihre Anwendung findet.

126. Artesischer Brunnen. Es ist zuweilen versucht worden,

die der Erde entspringenden Quellen durch den Druck einer ausdehnsamern Flüssigkeit auf die Oberfläche flüssiger Massen, die sich in der Erde angehäuft befinden, zu erklären. Die Permanenz der natürlichen oder künstlichen Quellen schließt aber diese Hypothese aus. Wäre dieselbe richtig, so müßte das Ausströmen intermittirend erfolgen und die Flüssigkeit bei ihren Ausflüssen mit Gasen oder Dämpfen, wie es bei dem Geysir auf Island der Fall ist, begleitet sein. Bei den sogenannten artesischen oder Bohrbrunnen findet aber etwas Aehnliches nicht statt. Diese Brunnen werden da angelegt, wo man selbst in bedeutender Tiefe noch kein Wasser findet, weil in Folge der Porosität der Schichten und der Gesteine das Wasser von der Oberfläche der Erde bis in größere Tiefen einsickert. Wird nun daselbst mittelst Bohrer so tief gebohrt, bis man das eingesickerte Wasser erreicht, so quillt es meist von selbst aus dem Bohrloche heraus und springt häufig weit über die Mündung des Bohrloches in die Höhe. Ein genaues Studium der geologischen Erscheinungen hat nun gelehrt, daß zwischen dem Wasserstrahl eines artesischen Brunnens, dem Springbrunnen der Gärten und dem Wasserstrahl, den man bei physikalischen Vorlesungen mit Hülfe einer umgekehrten zweischenkligen Röhre oder eines Hebers erzeugt, fast vollständige Identität, was das Princip betrifft, stattfindet. Das Bohrloch stellt den kleinen Schenkel des Hebers vor, der längere Schenkel wird durch das Wasserreservoir gebildet. Stelle man sich vor, das Wasser der Erdoberfläche sickere durch deren obere Schichten und gelange endlich in eine poröse z. B. aus Sandstein gebildete Schicht, die Oben und Unten von einer für das Wasser undurchdringlichen Thonschicht eingeschlossen sei, so wird sich das Wasser in den tiefern Theilen der porösen Schicht ansammeln. Wird nun an einem über dieser Schicht gelegenen Orte ein Bohrloch eingetrieben, bis diese Schicht erreicht ist, so muß das Wasser in dem Bohrloch bis zu einer Höhe springen, welche der des Niveau in der wasserführenden Schicht gleich ist. Es ist selbstverständlich, daß artesische Brunnen nicht überall angelegt werden können, daß aber die geognostischen Verhältnisse des betreffenden Ortes entscheiden können, ob sich in der Tiefe eine wasserführende Schicht befindet, ob ein artesischer Brunnen möglich ist.

127. Heber. Mit Hülfe des Principes der Uebertragung des Druckes läßt sich leicht die Wirkung des Hebers, eines Instrumentes erklären, das häufig zum Decanthiren von Flüssigkeiten benutzt wird.

Stellen wir uns zwei mit einer Flüssigkeit angefüllte Gefäße A und B (Fig. 74) vor, die vermittelst eines Hebers mit einander com-



municiren. Der Heber ist mit derselben Flüssigkeit angefüllt, welche sich in den beiden Gefäßen befindet. Bezeichnen wir mit δ die Dichte dieser Flüssigkeit und mit δ' die Dichte der Flüssigkeit, in welcher sich der Heber so wie die beiden Gefäße befinden.

Der Druck der äußern Flüssigkeit in Verbindung mit dem Druck der Flüssigkeit im Heber und in den beiden Gefäßen erzeugt verschiedene Bewegungserscheinungen.

h bezeichne die Entfernung der beiden Niveau in den Gefäßen A und B; die äußere Flüssigkeit, welche auf die Oberfläche CD einen Druck P ausübt, übt auf die Oberfläche von EF einen Druck $P+h\delta'$ aus, der sich eben so wie der erstere, aber in entgegengesetzter Richtung auf irgend einen Theil mn der in dem Heber enthaltenen Flüssigkeitssäule überträgt. Ist z die Entfernung des Theiles mn vom Niveau CD (z unter der Ebene CD positiv, über der Ebene CD negativ genommen), so muß man zu dem Druck P addiren δz und von dem Druck in entgegengesetzter Richtung $P+h\delta'$ abziehen $(h-z)\delta$, um den Druck zu finden, der auf mn in entgegengesetzter Richtung ausgeübt wird.

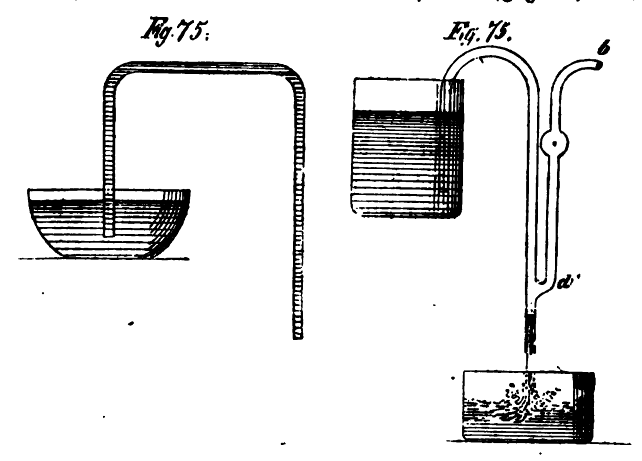
Die Differenz zwischen diesem Druck $h(\delta-\delta')$ ist der in der That auf mn ausgeübte Druck und deutet durch das Zeichen die Richtung der Bewegung an. Ist es positiv, so muß die Flüssigkeit von A nach B fließen, negativ dagegen, von B nach A.

Ausströmen einer Flüssigkeit in der Luft. Ist h positiv, d. h. ist die Niveaufläche CD über der Fläche EF und $\delta>\delta'$, so findet das Ausfließen aus dem Gefäße A in das Gefäß B statt; die Geschwindigkeit nimmt mit der Größe von h zu.

Ist die Röhre ziemlich eng und höchstens von 5—6 Millimetern Durchmesser, so hat man nicht nöthig, beide Enden des Hebers in die Flüssigkeit zu tauchen; es ist hinreichend, daß das Niveau der Flüssigkeit in dem längeren Schenkel unter dem Niveau CD sei.

Um den Heber in Bewegung zu setzen, füllt man ihn entweder vorher mit der Flüssigkeit, oder was häufig noch bequemer ist, saugt man, nachdem der kürzere Schenkel in die Flüssigkeit gebracht worden ist, mit dem Munde etwas Luft aus dem längeren Schenkel.

Um zu verhindern, daß beim Saugen etwas von der Flüssigkeit in den Mund komme, bringt man an dem längeren Schenkel der Röhre, nicht weit von dem Ende ein Rohr ab (Fig. 75) an, durch



welches man, nachdem die Oeffnung des längeren Schenkels mit dem Finger verschlossen worden ist, die Luft aussaugt.

Ausströmen einer Flüssigkeit in eine dichtere Flüssigkeit. Ist $\delta' > \delta$, so findet die Bewegung der Flüssigkeit aus dem untern Gefäße nach dem obern zu statt; damit die Flüssigkeit in den Gefäßen sich erhalte, müssen die Gefäße umgekehrt werden.

Fig. 74 bis zeigt uns einen derartigen Apparat. Der kleine Schenkel führt unter das untere Gefäß, der längere Schenkel unter das obere Gefäß. Auf diese Weise sind gewöhnlich die Röhren construirt, vermittelst welcher man Gase aus einer Glocke in eine andere in der pneumatischen oder Quecksilberwanne bringt.

Die Formel $h(\delta - \delta')$ $(\delta' > \delta)$ erklärt die Bedingungen, unter denen das Ausströmen eines Gases in einen andern dichtern, so lange als die beiden Gase getrennt bleiben, stattfindet.

Dieses Ausströmen findet statt, selbst wenn das obere Gefäß nicht vorhanden ist, vorausgesetzt aber, daß der Heber mit dem minder dichten Gase angefüllt sei. Dieser Fall findet bei dem Ausströmen der warmen Luft in den Kaminröhren und Schornsteinen statt und die Formel h (δ′—δ) drückt die hauptsächlichsten Bedingungen der Zugkraft der Essen aus.

128. Becher des Tantalus (Vexirbecher). Der unter diesem Namen bekannte physikalische Apparat (Fig. 76) ist ein Glas, in dessen hohlen Fuß eine Röhre befindlich ist, die den längern Schenkel eines Hebers vorstellt, dessen kürzerer gekrümmter Schenkel im Innern des Bechers mündet. Gießt man nun Wasser in den Becher, so wird das Niveau steigen, bis es die Ebene MN, die über dem Scheitel der Krümmung des kleinern Heberschenkels steht, erreicht hat. In diesem Augenblicke fängt der Heber an zu spielen und das Wasser läuft durch den längern Schenkel ab, so lange die Oeffnung des kleinern Schenkels noch unter dem Flüssigkeitsspiegel befindlich ist.

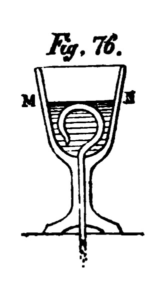


Fig. 76.

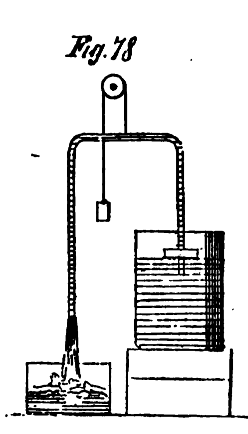
Wenn die Flüssigkeit fortwährend in den Becher nachflösse, jedoch mit einer geringern Geschwindigkeit, als sie durch den längern Schenkel ausfließt, so würde dieselbe Erscheinung sogleich beginnen, so wie das Niveau MN erreicht ist und sich nach Unterbrechungen periodisch wiederholen, welche Unterbrechungen von der Capacität des Gefäßes und von der Geschwindigkeit der zuströmenden Flüssigkeit abhängig sind.

Intermittirende Quellen. Es giebt Quellen, welche in gewissen Jahreszeiten, oder selbst zu gewissen Stunden, aufhören zu fließen, um sodann, nach längeren oder kürzeren, bald mehr, bald weniger regelrechten Pausen, wiederzukehren. Diese Quellen sind mit dem Namen der intermittirenden oder aussetzenden Quellen bezeichnet worden. Sie lassen sich leicht auf das Princip des Tantalusbechers zurückführen. Die Höhle (Fig. 77), welche als Reservoir dient und sich durch Einsickerung mit Wasser füllt, communicirt vermittelst eines, einen gekrümmten Heber darstellenden Kanales ABC mit dem Ausflußorte der Quelle an der Erdoberfläche. Die Quelle kann erst dann zu fließen anfangen, wenn das Niveau des Wassers dem Punkt B erreicht hat. Das Fließen wird so lange fortdauern,

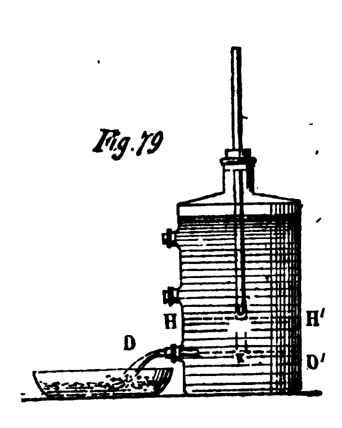


als der Punkt A sich noch unter Wasser befindet. Nach der größeren oder geringeren Schnelligkeit des Zuflusses müssen Steigen und Sinken des Wassers in dem Reservoir, ununterbrochene oder stockende Ergüsse erfolgen.

129. Constantes Ausströmen von Flüssigkeiten. Der Heber findet ferner in der Physik häufig Anwendung, um das Ausfließen von Flüssigkeiten constant zu machen. Die Röhre (Fig. 78) wird durch ein Gegengewicht im Gleichgewicht und durch einen Schwimmer auf der Oberfläche der Flüssigkeit gehalten. Die Entfernung des Niveaus der Flüssigkeit von der Mündung des Hebers bleibt demnach dieselbe und das Ausfließen erfolgt gleichmäßig.



Mariotte'sche Flasche. Vermittelst dieses Apparates läßt sich ein ziemlich constantes Ausströmen erzielen. Diese Mariotte'sche Flasche ist eine gewöhnliche Flasche (Fig. 79), die mit einem Korke verschlossen ist, durch welchen eine an beiden Seiten offene Röhre und ziemlich bis auf den Boden der Flasche geht. An der Seite bei D nicht weit vom Boden hat sie eine kleine Oeffnung, welche tiefer als das Ende O der Röhre liegt. Wenn die Flasche und die Röhre mit Wasser angefüllt sind



und man die Oeffnung bei D öffnet, so fließt das Wasser heraus. Die Geschwindigkeit, mit welcher es ausströmt, nimmt ab, bis sein Niveau das Ende O der Röhre erreicht hat. In diesem Augenblicke rührt die Geschwindigkeit von der Höhe OK von dem Ende der Röhre bis zu der Horizontalebene DD' her. Es ist leicht ersichtlich, daß so lange Flüssigkeit in der Flasche über der Mündung O enthalten ist, diese Höhe nur unbedeutende Variationen erleiden kann.

Da die Flüssigkeit, welche in dem Gefäß über der Horizontalebene HOH' enthalten ist, durch den Atmosphärendruck gehalten wird und in Folge des Widerstandes der Wände im Gleichgewicht bleibt, so können wir davon abstrahiren und die Flüssigkeit als in einen kleinen gebogenen Kanal OKD fließend, betrachten. Das Niveau wird schnell bis unter O sinken und die Luft an die Stelle der ausgeflossenen Flüssigkeit treten. Die Luft dehnt sich anfänglich seitwärts aus und steigt in Folge ihres geringern specifischen Gewichtes in den obern Theil des Gefäßes. Die durch die Luft verdrängte Flüssigkeit erhebt in O das Niveau der kleinen Säule. Das Ausfließen einer neuen Quantität Flüssigkeit aus D bewirkt in O die Bildung einer neuen Luftblase, folglich die Verdrängung einer neuen Quantität Flüssigkeit in dem obern Theil der Flasche und die Wiederherstellung des ersten Niveaus.

Diese kleinen Schwankungen des Niveaus der Säule OKD erfolgen so lange, als noch die Flüssigkeit nicht in der Flasche unter das Niveau der Mündung der Röhre herabgesunken ist. Das Ausfließen aus der Mündung D wird demnach periodisch geschehen. Die mittlere Geschwindigkeit läßt sich innerhalb bestimmter Grenzen verändern, wenn man das Ende der Röhre der Horizontalebene DD' nähert oder von derselben entfernt.

Mariotte'sche Flasche in Verbindung mit einem Heber. Zuweilen giebt man der Mariotte'schen Flasche folgende Einrichtung. Anstatt einer Flasche, die in einiger Entfernung vom Boden eine Oeffnung hat, bedient man sich einer zweihalsigen Flasche ABC (Fig. 80). In dem einen Halse befindet sich die gerade Röhre, in

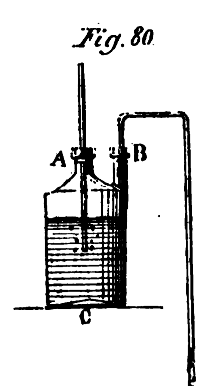
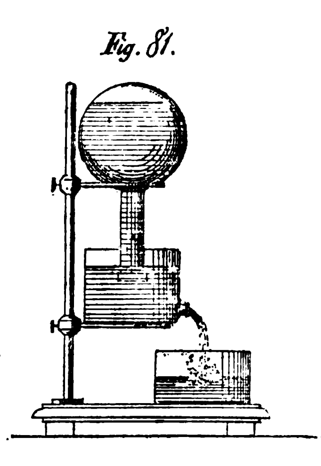


Fig. 80

dem andern der kleine Schenkel eines Hebers, dessen längerer Schenkel außerhalb ist. Die Geschwindigkeit des Ausströmens ist durch die vertikale Entfernung zwischen dem Ende der geraden Röhre und dem Ende des längern Schenkels des Hebers bedingt.

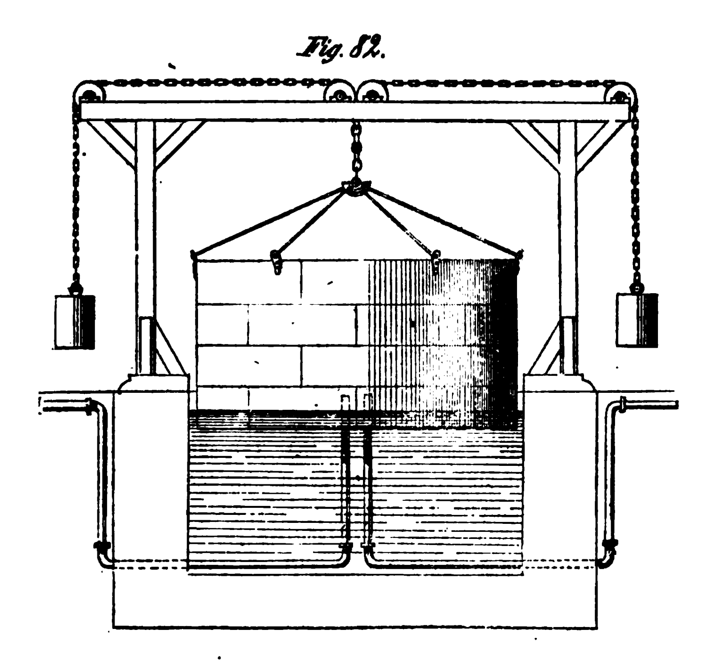
Zur Regulirung des Ausfließens bedient man sich ferner eines weithalsigen, mit Flüssigkeit angefüllten Ballons, der in einem mit derselben Flüssigkeit angefüllten Gefäß umgekehrt wird, so daß sich dessen Mündung unter dem Niveau der Flüssigkeit befindet (Fig. 81). In dem Maße als aus dem Gefäße Flüssigkeit ausströmt, fließt Flüssigkeit aus dem Ballon in das Gefäß und anstatt der Flüssigkeit tritt Luft in den Ballon. Die Höhe der Flüssigkeit über der Ausflußöffnung des Gefäßes ist, wie bei der Mariotte'schen Flasche, innerhalb bestimmter Grenzen veränderlich. Man wendet diesen Apparat bei Lampen an, um das Niveau des Oels um den Docht herum gleich zu erhalten und das Verkohlen des Dochtes zu verhindern. Eines ähnlichen Apparates bedient man sich in der analytischen Chemie, um Niederschläge auszuwaschen.


Fig. 81.

130. Constantes Ausströmen von Gasen. Gasometer. Die zur Erzeugung eines constanten Ausströmens von Flüssigkeiten benutzten Mittel lassen sich gleichfalls zur Regulirung des Ausströmens von Gasen anwenden. Es ist einleuchtend, daß, wenn man eine Flüssigkeit in gleichförmigem Strome in einen mit Gas angefüllten Raum leitet, dieses Gas gleichförmig und unter bestimmtem Drucke entweichen kann.

In den Gasbeleuchtungsanstalten würde dieses Verfahren nicht anwendbar sein. Man wendet daselbst ein Gasometer an, das aus einem aus Metallblech gebildeten, oben geschlossenen Cylinder (Fig. 82) (der Trommel) besteht, welcher an Ketten hängt, die über Rollen

Fig. 82.



gehen. An den andern Enden der Ketten befinden sich Gegengewichte. Der Cylinder taucht mit seinem unten offenen Ende in ein großes mit Wasser gefülltes Reservoir, in welches zwei Röhren gehen, deren Ausmündungsöffnungen stets über das Niveau des Wassers im Reservoir emporragen, wie tief auch der Cylinder in dem Reservoir eingesenkt ist. Die eine Röhre führt das Gas aus der Reinigungsanstalt in den Gasometer, die andere führt es aus dem Gasometer nach den Consumtionsorten. Der Druck auf das Gas und sonach das Ausströmen desselben wird durch ein Gegengewicht regulirt.

Die in den chemischen Laboratorien angewandten Gasometer sind von anderer Construction. Bei Gebläsen, die bei metallurgischen Processen Anwendung finden, benutzt man auch häufig den Druck des Wassers, um ein constantes Ausströmen der Luft zu erzielen.

Elftes Kapitel.

Vom Thermometer.

131. Principien. — 132. Temperatur. — 133. Thermometrie. — 134. Arten von Thermometern. — 135. Scheinbarer Ausdehnungscoefficient des Quecksilbers. — 136. Quecksilberthermometer. — 137. Volumen des Quecksilberbehälters. — 138. Construction des Thermometers. — 139. Feste Punkte. — 140. Durch Vergleichung graduirte Thermometer. — 141. Nichtübereinstimmung der Thermometer.

131. Principien. Die hauptsächlichsten physikalischen Veränderungen, welche die Körper durch den Einfluß der Wärme erleiden, sind Aenderung des Aggregatzustandes und Volumenveränderung.

Tägliche Beobachtungen und die einfachsten Versuche lehren, daß die Körper durch die Wärme aus dem festen Zustand in den flüssigen und aus dem flüssigen in den gasförmigen überzugehen streben. Diese Aenderungen des Aggregatzustandes sind durch eigenthümliche Umstände characterisirt, die wir anführen wollen.

Die durch Wärme hervorgebrachte Volumenveränderung wird bei allen Körpern wahrgenommen; sie läßt sich nachweisen, wie auch die Form, das Volumen und der Aggregatzustand des Körpers beschaffen sein mögen; diese Volumenveränderung ist eine fortgesetzte; daraus sieht man, warum sie zum Messen der Veränderung der Einwirkung der Wärme benutzt worden ist.

132. Temperatur. Wenn man in ein mit schmelzendem Eise umgebenes Gefäß Körper gleichviel von welchem Volumen oder Form bringt, so bemerkt man sehr bald, daß diese Körper durch den Einfluß der Wärme eine Volumenveränderung erleiden (sich meist zusammenziehen) und nach kürzerer oder längerer Zeit, welche je

nach der Natur der Körper verschieden ist, ein bestimmtes Volumen annehmen. Dieses Volumen behalten diese Körper so lange bei, als sie in dem schmelzenden Eise bleiben, und nehmen es stets wieder an, wenn man sie in gleiche Bedingungen versetzt.

Dieses Molekulargleichgewicht, das in Folge einer mehr oder minder hervortretenden Bewegung entsteht, wird als das Kennzeichen des Gleichgewichts der Wärme betrachtet und man drückt dasselbe aus, indem man sagt, daß die Körper die nämliche Temperatur haben.

Wenn die Körper dieses Gleichgewicht im schmelzenden Eise erlangt haben, so sagt man: sie haben die Temperatur des Schmelzpunktes des Eises; bei jedem anderen schmelzenden Körper werden diese Körper nach Verlauf einer gewissen Zeit dieselben Erscheinungen des Molekulargleichgewichtes unter verschiedenem Volumen angenommen und die Temperatur des Schmelzpunktes dieser Körper erreicht haben.

Diese constante Temperatur, die sich durch ein Molekulargleichgewicht zu erkennen giebt, charakterisirt die Aenderung des Aggregatzustandes.

Wenn man das Eis, womit die Körper umgeben sind, entfernt und um dieselben einen Strom von Dampf, der unter einem Drucke von 760 Millimetern ausströmt, circuliren läßt, so bemerkt man bei allen Körpern eine Ausdehnung. Nach einiger Zeit erreichen sie ein constantes Volumen, welches so lange unverändert bleibt, als die Bedingungen, unter denen die Körper der Wärme ausgesetzt sind, sich nicht verändern. Man sagt in diesem Falle, daß die Körper die Temperatur des siedenden Wassers haben.

133. Thermometrie. Von der Temperatur des schmelzenden Eises bis zur Temperatur des siedenden Wassers, sowie oberhalb und unterhalb dieser Punkte, giebt es selbstverständlich eine unendliche Anzahl von Gleichgewichten der Wärme und Temperaturen, von denen eine jede durch ein bestimmtes Volumen eines der Körper characterisirt ist.

Um diese Temperaturen zu bezeichnen, um sie beliebig zu erzeugen, stellen wir uns einen Körper vor, dessen Volumen, durch 1 bei der Temperatur des schmelzenden Eises ausgedrückt, bei der Temperatur des siedenden Wassers $1 + a$ werde; wir nehmen zugleich an, daß die Ausdehnung a in eine gewisse Anzahl Theile, z. B. in 100 getheilt worden sei.

Wir bezeichnen einen dieser Theile mit α; $\alpha = \frac{a}{100}$. Wenn das Volumen des Körpers 1 übergeht in $1+\alpha$, $1+2\alpha$, $1+3\alpha$.....$1+4\alpha$, so kann man auch sagen, daß die Temperatur des Körpers auf 0, 1, 2, 3... 4 Grade gestiegen ist.

Im Allgemeinen kann man sagen, daß, wenn das Volumen eines Körpers, bei der Temperatur des schmelzenden Eises als Einheit genommen, um eine Quantität gleich $\pm K\alpha$ variirt hat und K eine ganze Zahl oder einen Bruch ausdrückt, die Temperatur K Grade über oder unter dem Schmelzpunkte beträgt.

Die Bestimmung der Temperatur reducirt sich also auf die Bestimmung der Volumenveränderungen, die ein Körper durch den Einfluß der Wärme erleidet; der zu diesem Zwecke benutzte Körper wird ein Thermometer genannt.

Nach der vorstehenden Erklärung kann ein jeder Körper, vorausgesetzt, daß seine Ausdehnungen genau verfolgt und bestimmt werden können, als Thermometer benutzt werden.

Die gebräuchlichen Thermometer, deren Construction im Folgenden angegeben werden wird, geben nicht nur die Variationen des Volumens, welche den verschiedenen Temperaturen entsprechen, sondern auch die Temperaturgrade an.

134. Arten von Thermometern. In dem im vorigen Paragraph benutzten Beispiele wurde die Ausdehnung des Körpers bei einer Temperatur zwischen dem Schmelzpunkte des Eises und dem Siedepunkt des Wassers in 100 gleiche Theile getheilt. Die so erhaltenen Grade nennt man Centigrade, das auf diese Weise eingetheilte Thermometer das hunderttheilige, Centesimalthermometer oder das Thermometer von Celsius.

Der Raum zwischen dem Gefrierpunkt und dem Siedepunkt, Fundamentalabstand genannt, kann natürlich auch in jede beliebige andere Anzahl Theile getheilt werden, Newton theilt sie in 34 Theile, Reaumur in 80, Fahrenheit in 180 Theile.

Thermometer von Reaumur. Die Umwandelung der Reaumur'schen Grade in Centigrade geschieht auf folgende Weise: Bezeichnen wir mit β die Ausdehnung, wodurch die Anzahl Grade in dem Reaumur'schen Thermometer angegeben wird, so ist

$$100\alpha = 80\beta, \text{ woraus } \beta = \frac{10}{8}\alpha \text{ und } \alpha \frac{8}{10}\beta.$$

Die durch eine gewisse Ausdehnung D angegebene Temperatur unter

der Einheit des Volumens wird demnach durch $\frac{D}{\alpha}$ in Centigraden und durch $\frac{D}{\beta} = \frac{8}{10} \cdot \frac{D}{\alpha}$ in Reaumur'schen Graden ausgedrückt, oder mit anderen Worten: ein Centigrad $= 0{,}8^\circ$ Reaumur.

Thermometer von Fahrenheit. Die Fahrenheit'sche Eintheilung ist besonders in England und Nordamerika gebräuchlich. Während bei den Thermometern von Celsius und von Reaumur der Eispunkt mit 0° bezeichnet wird, hat Fahrenheit diesen Punkt mit 32° bezeichnet.

Der Fundamentalabstand ist in 180° eingetheilt; der Nullpunkt liegt 32° nach Fahrenheit unter dem Schmelzpunkte des Eises, so daß die Skala von 0° bis zum Siedepunkt des Wassers in 212° getheilt ist.

Bezeichnen wir mit γ einen der Grade von Fahrenheit, so haben wir folgende Formeln zur Umwandlung der Grade in solche von Reaumur und Celsius:

$$\frac{180\gamma}{1+32\gamma} = \frac{100\alpha}{1} \text{ woraus } \gamma = \frac{100\alpha}{180-3200\alpha};$$

da α außerordentlich klein ist, so nimmt man gewöhnlich:

$$\gamma = \frac{100\alpha}{180} = \frac{10}{18\alpha}$$

Um Centigrade umzuwandeln in Fahrenheit'sche Grade braucht man nur die Zahl, welche die Centigrade ausdrückt mit $\frac{18}{10}$ zu multipliciren.

Die Umwandelung der Reaumur'schen Grade in Fahrenheit'sche und umgekehrt, geschieht auf folgende Weise:

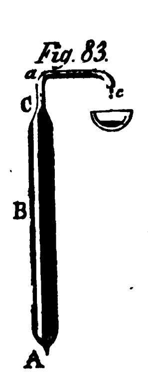
$$\beta = \frac{4}{9}(\gamma - 32)$$

und

$$\gamma = \frac{9}{4}(\beta + 32).$$

135. Scheinbarer Ausdehnungscoefficient des Quecksilbers. Die Ermittelung der Temperatur in Thermometergraden reducirt sich, wie schon angeführt, auf die Bestimmung des Ausdehnungscoefficienten. Bei dem am häufigsten angewendeten Thermometer, das sich auf die scheinbare Ausdehnung des Quecksilbers in Glas gründet, ist dieser Coefficient auf folgende Weise gefunden worden.

Das zu dieser Bestimmung dienende Thermometer heißt ein Gewichtsthermometer (Fig. 83), das aus einer 3—4 Decimeter langen und 3 Centimeter weiten Röhre besteht, die in eine feine



gekrümmte Spitze abc ausgezogen ist. Diese Röhre ist mit vollkommen reinem, luft- und feuchtigkeitfreiem Quecksilber angefüllt.

Man bestimmt zuerst das Gewicht des bei 0° in der Röhre enthaltenen Quecksilbers und erwärmt sodann den Apparat in einem geeigneten Gefäße bis zur Temperatur des siedenden Wassers. Das Quecksilber fließt durch die ausgezogene Spitze bei c aus und zwar um so mehr, je höher die Temperatur des Quecksilbers gestiegen ist. Der Gewichtsverlust, den das Quecksilber erlitten hat, giebt das Verhältniß an, in welchem das Quecksilber ausgedehnt worden ist. Das ausgetretene Quecksilber wird in einer Schale aufgesammelt und gewogen.

p sei das Gewicht des in der Schale enthaltenen Quecksilbers, P das Gewicht des Quecksilbers in dem Apparate bei 0°, so ist P—p das Gewicht des Quecksilbers, das bei der Temperatur des siedenden Wassers in dem Apparat zurückgeblieben ist.

Bezeichnet man mit Δm die Dichte des Quecksilbers bei dieser Temperatur, so ist $\frac{P-p}{\Delta m.}$ das Volumen der Röhre.

Wir nehmen an, daß dieses Volumen sich nicht verändere, da die scheinbare Ausdehnung gesucht werden soll; dieses Volumen wird daher bei der Temperatur von 0° durch dieselbe Zahl ausgedrückt.

Die totale scheinbare Ausdehnung des Quecksilbers für den Fundamentalabstand wird demnach durch $\frac{p}{\Delta m}$ und die scheinbare Ausdehnung der Einheit des Volumens durch $\frac{p}{\Delta m} : \frac{P-p}{\Delta m} = \frac{p}{P-p}$ ausgedrückt.

Bei der Annahme, daß $\frac{P-p}{p} = 100\,\alpha$ hat man gefunden $\alpha = \frac{1}{6480}$.

Der Coefficient nach Reaumur $\beta = \frac{1}{5180}$, der Coefficient nach Fahrenheit $\gamma = \frac{1}{11632}$.

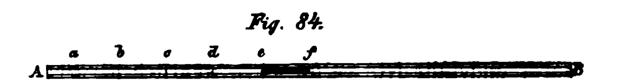
136. Quecksilberthermometer. Das gewöhnliche Quecksilberthermometer besteht aus einer Glaskugel, die sich am Ende einer genau eingetheilten Capillarröhre befindet.

Der wichtigste Theil des Instrumentes ist die Röhre, die mit

der größten Vorsicht ausgesucht werden muß. Die Weite der Röhre kann beliebig sein, doch wählt man jetzt nur Röhren von sehr engem Caliber. Die Röhre muß überall eine gleiche Weite besitzen; um zu erfahren, ob dies der Fall ist, zieht man etwas Quecksilber in die Röhre, so daß diese einige Millimeter damit angefüllt ist, schiebt dann die kleine Quecksilbersäule nach und nach der Röhre entlang und mißt fortwährend mit Hülfe eines Zirkels ihre Länge. Ist die Röhre überall gleich weit, so wird die Länge des Quecksilbers überall dieselbe sein und nur in diesem Falle kann die Röhre zu einem Thermometer benutzt werden.

Nachdem in die Röhre eine Quecksilbersäule von höchstens zwei Centimetern Länge gebracht worden ist (Fig. 84), bringt man die

Fig. 84.



Röhre auf die Theilmaschine. Die Quecksilbersäule, die wir mit ab bezeichnen wollen, wird zuerst dem Ende A der Röhre genähert; man bezeichne das Ende a derselben mit einem sehr feinen Feilstriche, messe ab sehr genau mit Hülfe des Nonius und rücke die Quecksilbersäule genau um ihre ganze Länge fort, so daß der Punkt a nach b fällt. Gesetzt sie habe hier die Länge bc, die von ab verschieden sein kann. Man messe nun bc, notire den gefundenen Werth, versetze das Quecksilber von bc in die Lage cd, messe cd wieder und fahre so fort, bis die Säule durch das Röhrenstück hindurch bis zum Ende B getrieben worden ist.

Wenn die dabei erhaltenen Zahlen, welche die Längen der Quecksilbersäulen ausdrücken, nicht merklich von einander verschieden sind, so kann man die Röhre an ihren verschiedenen Theilen als vollkommen cylindrisch betrachten und die Abtheilungen ab, bc 2c. in Unterabtheilungen theilen, die auf der Röhre notirt werden.

Um die Theilstriche auf der Röhre zu fixiren, überzieht man die Oberfläche derselben mit Firniß und zeichnet auf die getrocknete Schicht die Theilstriche. Sodann setzt man die Röhre Dämpfen von Fluorwasserstoffsäure aus, welche wohl das Glas ätzt, nicht aber den Firniß angreift. Darauf wird der Firniß mittelst eines passenden Lösungsmittels entfernt und an die Röhre die Glaskugel angeschmolzen.

137. Volumen der Glaskugel. Das Volumen der Glaskugel ist von dem Durchmesser der Röhre und der Höhe derselben abhängig. Annähernd bestimmt man das Volumen durch folgende Berechnung.

N drücke die Anzahl der Grade in der Länge der Röhre aus, v das Volumen einer jeden dieser Abtheilungen, welches direct durch Wägen des Quecksilbers bestimmt werden kann, t und T die höchste und die niedrigste Temperatur, welche durch das Instrument angegeben werden kann, x den Durchmesser der Glaskugel, welche wir sphärisch annehmen, so ist das Verhältniß:

$$\frac{\frac{1}{6}\pi x^3}{\frac{1}{6}\pi x^3 + Nv} = \frac{1+\alpha t}{1+\alpha T}.$$

Dabei wird vorausgesetzt, daß bei der Temperatur t das Quecksilber nur die Glaskugel anfülle, daß bei der Temperatur T der ganze Apparat angefüllt sei. Das oben angegebene Verhältniß ist übrigens allgemein und paßt für alle Temperaturen t und T.

Für α nimmt man einen von den drei angegebenen Coefficienten, je nachdem das Thermometer nach Celsius, Reaumur oder Fahrenheit construirt werden soll.

138. Construction des Thermometers; Füllen mit Quecksilber. Das eine Ende der Röhre wird nun vor der Lampe erweicht und zu einer Kugel aufgeblasen. Nachdem die Länge, welche das Thermometer haben soll, bestimmt worden ist, bringt man an dem anderen Ende eine größere Kugel an (Fig. 85), an welcher sich eine in eine Spitze ausgezogene Glasröhre befindet. Darauf erwärmt man den ganzen Apparat, um die Luft darin zu verdünnen, und taucht die ausgezogene Spitze in Quecksilber. Das Quecksilber steigt in die größere Kugel und in einen Theil der Röhre. Beim Umkehren des Apparates fällt ein Theil des Quecksilbers in die Glaskugel herab. Darauf wird der Apparat von Neuem erwärmt, wodurch eine neue Quantität Luft durch das Quecksilber in der oberen Kugel entweicht. Man fährt so fort und verjagt endlich durch Quecksilberdämpfe, die man durch Erhitzen des Quecksilbers in dem Apparat bis zum Sieden erhält, die letzten Antheile von Luft und den Wänden der Röhre und des Reservoirs anhängenden Wassers

Fig. 85.

(Fig. 86). Der durch die Condensation der Quecksilberdämpfe entstandene leere Raum wird durch das in der größern Kugel enthal-

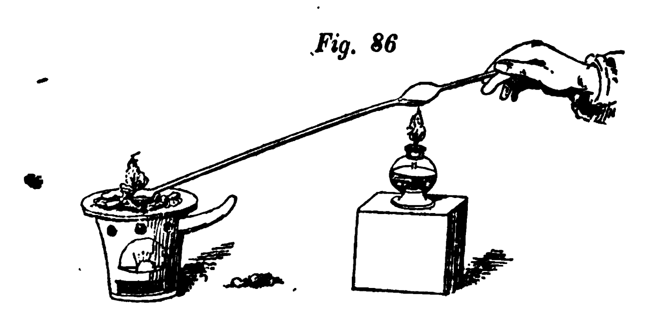


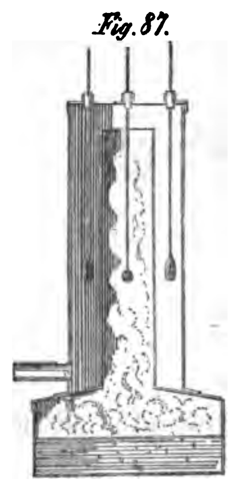
Fig. 86

tene Quecksilber ausgefüllt, das zu diesem Zwecke erhitzt gehalten werden muß.

Darauf läßt man den Apparat erkalten. Das Quecksilber aus der Röhre geht in die Glaskugel und das aus der oberen Kugel geht in die Röhre. Wenn man glaubt, daß eine hinlängliche Menge Quecksilber in der Röhre befindlich ist, so trennt man das Quecksilber in der Röhre von dem in der obern Kugel durch Neigen des Apparats. Darauf bringt man das Thermometer auf eine bestimmte Temperatur, z. B. auf 0° und beobachtet, ob die Quecksilbersäule bis ungefähr auf den Punkt herabsinkt, welcher dieser Temperatur entsprechen soll. Gewöhnlich gelingt dies nicht sogleich beim ersten Male; nach einigen Versuchen erreicht man aber diesen Punkt. Nachdem die Quantität des Quecksilbers auf diese Weise bestimmt worden ist, dehnt man von Neuem das Quecksilber aus, bis es das Ende der Röhre erreicht hat; in diesem Moment schmilzt man die Röhre vor der Lampe zu.

139. Bestimmte Punkte. Wenn die Glaskugel des Thermometers genau das berechnete Volumen hat und die Quantität des in dem Thermometer enthaltenen Quecksilbers genau der berechneten Menge entspricht, so ist nichts mehr zu thun, und das Thermometer ist fertig. Zur Bestimmung einer Temperatur braucht man nur an der Eintheilung der Röhre die Grade, bis zu welchen die Quecksilbersäule reicht, abzulesen. Ungeachtet aller Vorsichtsmaßregeln trifft man es aber nie so genau, daß das Thermometer ohne Weiteres zu benutzen wäre. Deshalb ist es nothwendig, zwei b e s t i m m t e P u n k t e des Thermometers festzustellen, d. h. auf dem In-

Fig. 87.



strument selbst die Größe der scheinbaren Ausdehnung des Quecksilbers von 0°—100° zu bestimmen.

Zu diesem Zwecke bringt man das Thermometer in ein passendes Gefäß (Fig. 87), in welchem sich siedendes Wasser befindet. Sobald der Punkt, bis zu welchem das Quecksilber in der Röhre gestiegen ist, constant bleibt, bezeichnet man denselben. Sodann taucht man das Thermometer in gestoßenes schmelzendes Eis (Fig. 88); das Quecksilber in der Röhre sinkt herab und bleibt auf einem bestimmten Punkte stehen; dieser Punkt wird mit einem Feilstriche bezeichnet.

Fig. 88.



Den Abstand zwischen diesen beiden Punkten, von welchen der erste der Siedepunkt, der zweite der Gefrierpunkt genannt wird, theilt man in die entsprechende Anzahl von Graden ein.

Es ist wesentlich, den Siedepunkt zuerst und sodann erst den Gefrierpunkt zu bestimmen; verfährt man umgekehrt, so erleidet der Nullpunkt eine Verrückung, welche von einer Molekularveränderung herzurühren scheint, die durch die Wärme in dem Innern des Glases hervorgebracht oder begünstigt wird. Bei einem neuen Thermometer ist diese Verrückung deutlich zu bemerken; mit dem Alter tritt dieser Uebelstand mehr in den Hintergrund, verschwindet aber nie, selbst wenn das Thermometer sich stets nur in gewöhnlicher Temperatur befindet. In Folge dieser unregelmäßigen Variationen in dem Volumen des Glases muß daher ein Thermometer bei jedesmaligem Gebrauche, wenn es sich um genaue Bestimmungen handelt, vorher auch seine Genauigkeit geprüft werden.

Daß bei der Bestimmung des Siedepunktes eines Thermometers genaue Rücksicht auf den jeweiligen Barometerstand genommen werden muß, bedarf wohl kaum der Erwähnung.

140. Durch Vergleichung graduirte Thermometer. Ein

nach der vorstehenden Vorschrift construirtes Thermometer bildet ein wirkliches thermometisches Etalon, welches dazu dienen kann, durch Vergleichung gewöhnliche Thermometer zu construiren.

Man bezeichnet direkt die bestimmten Punkte auf diesen Thermometern, bringt sie nachher in einen Raum von constanter Temperatur, z. B. in Wasser, neben das Probethermometer und vergleicht die Höhen der Quecksilbersäulen bei beiden Thermometern. Diese Punkte entsprechen im Voraus auf der calibrirten Röhre angebrachten Abtheilungen; auf nicht calibrirten Röhren zeigen sie den Abstand an, der in gleiche Theile getheilt werden kann.

Bringt man z. B. ein Thermometer mit nicht eingetheilter Röhre in Wasser, dessen Temperaturen durch das Probethermometer nach und nach auf 10°, 20°, 30° angegeben werden, so theilt man den Raum zwischen je zwei dieser Punkte in 10 gleiche Theile.

141. Abweichungen in den Thermometerangaben. Ungeachtet aller Vorsichtsmaßregeln ist es sehr selten, daß Thermometer, die sich auf die scheinbare Ausdehnung des Quecksilbers gründen, nicht unter sich übereinstimmen; dies gilt besonders bei Temperaturen, die über 100° liegen. Diese Abweichungen in den Thermometerangaben schreibt man der ungleichen Ausdehnung des Glases zu.

Anstatt des Quecksilbers wendet man auch zuweilen gefärbten Weingeist zum Füllen der Thermometer an; diese Weingeistthermometer benutzt man, wenn es sich darum handelt, Temperaturen, die in der Nähe oder unterhalb des Gefrierpunktes des Quecksilbers liegen, zu messen. Bei der Bestimmung von Wärmegraden steht es an Genauigkeit dem Quecksilberthermometer nach, da die Ausdehnung des Weingeistes über dem Gefrierpunkt weniger regelmäßig ist als die des Quecksilbers. Aber selbst vermittelst des Quecksilberthermometers kann man Temperaturen nur bis höchstens 300° genau bestimmen; oberhalb dieser Temperatur kommt man in die Nähe des Siedepunktes des Quecksilbers, bei welchem die Ausdehnung des Quecksilbers nicht mehr regelmäßig von statten geht. Bei genauen Temperaturbestimmungen bedient man sich am zweckmäßigsten eines Luftthermometers.

Zwölftes Kapitel.

Von der Ausdehnung der Körper.

142. Ausdehnung der Einheit des Volumens. — 143. Absolute Ausdehnung des Quecksilbers. — 144. Ausdehnung des Glases. — 145. Kubische Ausdehnung fester Körper. — 146. Beziehung zwischen der cubischen Ausdehnung und der Linearausdehnung. — 147. Linearausdehnung. — 148. Ausdehnung von Flüssigkeiten. — 149. Vergleichung der Thermometer. — 150. Maximum der Dichte des Wassers. — 151. Empirische Formeln für die Ausdehnung. — 152. Reduction der Barometerhöhen. — 153. Correction der Dichte. — 154. Ausdehnung der Luft. — 155. Beziehung zwischen dem Volumen, dem Drucke und der Temperatur der Masse eines Gases. — 156. Differentialthermometer.

142. Die Ausdehnung der Einheit des Volumens einer Substanz wird bestimmt, indem man die Volumenveränderung oder die Variation der Dichte dieser Substanz ermittelt.

Die Beziehung $V\Delta = V'\Delta'$ giebt $\frac{V'}{V} = \frac{\Delta}{\Delta'}$ und folglich $\frac{V'-V}{V} = \frac{\Delta-\Delta'}{\Delta'}$; V und V' sind die Volumen eines und desselben Körpers bei zwei verschiedenen Temperaturen, Δ und Δ' die entsprechenden Dichten.

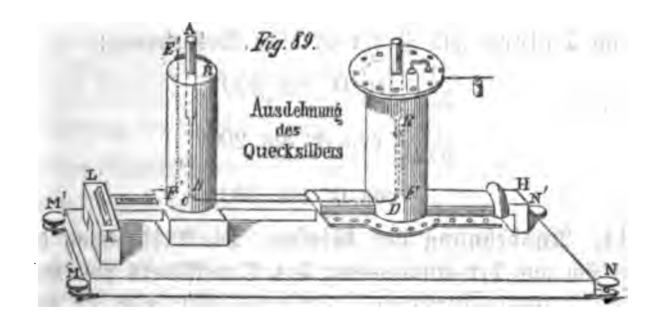
Der Quotient $\frac{V'-V}{V}$ drückt die Variation der Einheit des Volumens aus.

143. Absolute Ausdehnung des Quecksilbers. Die Messung der absoluten Ausdehnung des Quecksilbers beruht auf dem hydraulischen Principe: daß die Höhen zweier Flüssigkeiten von verschiedenem specifischen Gewichte, die sich bei demselben Drucke das Gleichgewicht halten, sich umgekehrt wie die Dichten dieser Flüssigkeiten verhalten.

Dieses Princip ist völlig unabhängig von der Form und dem Volumen der Gefäße und reducirt die Vergleichung der Dichten auf

die Vergleichung der Höhen zweier Flüssigkeitssäulen, welche verschiedene Temperatur haben.

Bei dem Versuche von Dulong und Petit sind diese beiden Flüssigkeitssäulen in vertikalen Röhren enthalten, welche durch eine enge horizontale Röhre CD (Fig. 89) mit einander in Verbindung



stehen. Die Röhren sind so weit, daß die Capillarität keinen nachtheiligen Einfluß ausüben kann; die enge Röhre verhindert das Mischen der beiden ungleich erwärmten Flüssigkeitsmassen.

Der Apparat ist auf einer eisernen Platte befestigt, welche die Gestalt eines T (LKH) hat; diese Platte ruht wieder auf einem Brette, das durch die Schrauben MM'NN' eingestellt werden kann. Die eisernen Stäbe EF, E'F' erhalten mit Hülfe von Ringen die parallelen Schenkel der Röhre gerade. Wird nun der eine Schenkel durch Eis bis auf 0° abgekühlt, der andere durch ein ihn umgebendes Oel- oder Wasserbad bis auf 100° erwärmt, so ist die Dichte des Quecksilbers in dem erwärmten Schenkel geringer als in dem andern.

Die Differenz H'—H der Höhen wird vermittelst des Kathetometers (vergl. S. 6) gemessen.

Die Höhe der Säule AB von der Temperatur des schmelzenden Eises wird aus der Differenz des Niveau λ zwischen dem Gipfel dieser Säule und einer befestigten Spitze R deducirt.

Diese Spitze wird durch den von Eis umgebenen Metallstab E'F' gehalten. Im Voraus schon ist die Entfernung der Spitze von der Eisenplatte bestimmt worden.

Bezeichnet man diese Entfernung mit l, die äußere Wand der Communicationsröhre mit r, so hat man für die Höhe des Schei-

tels AB über der Horizontalebene, welche durch die Axe der Röhre geht:

$$l - \lambda - r = H.$$

Das Verhältniß $\frac{H'-H}{H} = \frac{\Delta - \Delta'}{\Delta'}$ (vergl. §. 142) giebt die Ausdehnung der Einheit des Volumens des Quecksilbers von 0° bis 100°.

Nach Dulong und Petit ist diese Ausdehnung:

$$\frac{1}{55{,}5} \text{ von } 0^{\circ} \text{ bis } 100^{\circ}$$

$$\frac{2}{55{,}25} \text{ von } 0^{\circ} \text{ bis } 200^{\circ}$$

$$\frac{3}{53} \text{ von } 0^{\circ} \text{ bis } 300^{\circ}.$$

144. Ausdehnung des Glases. Die Ausdehnung des Glases läßt sich aus der Ausdehnung des Quecksilbers ableiten.

Um die Größe derselben zu erfahren, füllt man ein Gewichtsthermometer (vergl. Seite 101), giebt demselben die Temperatur von 0° und darauf die von 100°. Die Quantität des Quecksilbers, mit welchem das Instrument bis 0° angefüllt ist, wird durch das Gewicht bestimmt; dasselbe geschieht mit der Quantität, welche von 0° bis 100° entweicht, P, p; aus diesem doppelten Ausdruck, welcher das Volumen der Hülle bei 100° angiebt, ergiebt sich die Gleichung:

$$\frac{P}{\Delta}(1 + x) = \frac{P-p}{\Delta}\left(1 + \frac{1}{55{,}5}\right)$$

oder, wenn man mit Δ, das die Dichte des Quecksilbers bei 0° ausdrückt, multiplicirt:

$$P(1+x) = (P-p)\left(1 + \frac{1}{5{,}55}\right),$$

x ist die Ausdehnung der Einheit des Volumens der Glashülle von 0° bis 100°.

Neuere Untersuchungen haben jedoch gezeigt, daß diese Ausdehnung mit der chemischen Zusammensetzung, mit der Gestalt und selbst mit der Zeit variirt.

145. Die kubische Ausdehnung fester Körper läßt sich ebenfalls mit Hülfe des Gewichtsthermometers ermitteln. Man versteht darunter die Vergrößerung, welche das Volumen eines Körpers durch Temperaturerhöhung erleidet. Um diese kubische Ausdehnung zu bestimmen, bringt man einen Cylinder aus der zu untersuchenden Substanz in eine Glasröhre, die man sodann auszieht und mit

Quecksilber anfüllt. Aus dem bekannten Gewichte der Substanz, dem bekannten Gewichte des Quecksilbers, das die Röhre bei 0° anfüllt, und der Quantität Quecksilber, die ausfließt, während man die Temperatur von 0° auf 100° steigert, berechnet man die Ausdehnung nach folgender Gleichung:

$$\frac{P_s}{\Delta_s} x + \frac{Pm}{\Delta m} \cdot \frac{1}{55{,}5} - \left(\frac{Pm}{\Delta m} + \frac{P_s}{\Delta_s}\right) \cdot v = \frac{pm}{\Delta m}\left(1 + \frac{1}{55{,}5}\right).$$

P_s ist das Gewicht der festen Substanz, Δ_s seine Dichte bei 0°, Pm das Gewicht des ausgeflossenen Quecksilbers; x und v geben die Ausdehnung der Substanz und des Glases an, $\frac{1}{55{,}5}$ ist die Ausdehnung des Quecksilbers.

Durch diese Gleichung wird ausgedrückt, daß das Volumen des aus dem Apparat ausgeflossenen Quecksilbers gleich ist dem Ueberschusse der Ausdehnungen des Quecksilbers und der Substanz über die Ausdehnung der Hülle.

146. Beziehung zwischen der kubischen Ausdehnung und der Linearausdehnung. Die kubische Ausdehnung läßt sich nur bei solchen Metallen direct bestimmen, die vom Quecksilber nicht angegriffen werden; bei den übrigen Metallen muß man die kubische Ausdehnung aus der Linearausdehnung berechnen. Die Relation, die zwischen beiden Arten der Ausdehnung stattfindet, ist auf die Beobachtung basirt, daß nicht krystallisirte Körper bei der Volumenveränderung sich ziemlich gleich bleiben.

Demzufolge hat man, wenn man mit V und V' die Volumen des nämlichen Körpers bezeichnet

$$\frac{V'}{V} = \frac{l'^3}{l^3} \text{ und } \frac{V'-V}{V} = \frac{l'^3+l^3}{l^3}$$

l'—l ist die Variation in der Länge der Dimension l, sobald die Temperatur um t'—t variirt und man hat

$$l' = l + l' - l,$$

oder zum Kubus erhoben:

$$l'^3 - l^3 = 3l^2(l'-l) + 3l(l'-l)^2 + (l'-l)^3,$$

und

$$\frac{l'^3 - l^3}{l^3} = 3\,\frac{l'-l}{l} + 3\left(\frac{l^3-l}{l}\right)^2 + \left(\frac{l'-l}{l}\right)^3.$$

Die Quantitäten der zweiten und dritten Ordnung sind so klein, daß sie bei der Beobachtung vernachlässigt werden können, und man hat in diesem Falle:

$$\frac{l'^3 - l^3}{l^3} = 3\,\frac{l'-l}{}$$

und folglich

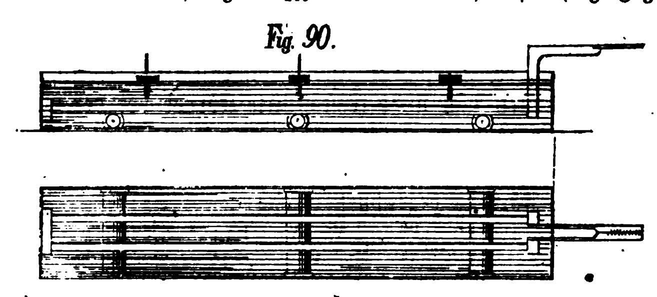
$$\frac{V'-V}{V} = 3\,\frac{l'-l}{l}.$$

Die kubische Ausdehnung ist demnach annähernd das Dreifache von der Linearausdehnung.

147. Linearausdehnung. Die Linearausdehnung $\frac{l'-l}{l}$ läßt sich direct beobachten oder aus der Vergleichung der Verlängerung zweier genau unter denselben Umständen befindlichen Stäbe ableiten. Darauf gründet sich das von Dulong und Petit angewendete Verfahren.

Die beiden Stäbe haben bei 0° gleiche Länge und sind an dem einen ihrer Enden mittelst eines eisernen Querstabes vereinigt. Ein jeder dieser beiden Stäbe trägt einen Metallstab, welcher erst vertikal ist, dann horizontal geht und an dem horizontalen Theile mit einer Skala versehen ist. Beide Skalen sind parallel und einander sehr nahe. Die Abtheilungen der einen sind Fünftel-Millimeter, die Abtheilungen der andern $\frac{19}{20}$ der erstern; mittelst derselben kann man eine Verrückung von $\frac{1}{100}$ Millimeter nachweisen (Vgl. Fig. 90).

Fig. 90.



Die dem Versuch ausgesetzten Stäbe bringt man in einen Kasten von Kupfer, der auf einen Ofen gestellt und mit fettem Oele gefüllt wird, das sich durch beständiges Rühren auf constanter Temperatur erhalten läßt.

148. Ausdehnung der Flüssigkeiten. Die Ausdehnung der Flüssigkeiten läßt sich sowohl nach der einen als nach der andern der angegebenen Methoden bestimmen.

Früher (vergl. Seite 57) ist angegeben worden, auf welche Weise die Dichte einer Flüssigkeit bei einer gewissen Temperatur vermittelst eines Fläschchens bestimmt werden kann. Es wird jetzt die Methode der Volumen erklärt werden.

Man construirt mit verschiedenen Flüssigkeiten Thermometer, welche dem Quecksilberthermometer ähnlich sind. Die calibrirten und sorgfältig geprüften Röhren sind an Glaskugeln von geeigneter Größe angeblasen.

Die inneren Volumen dieser Glaskugeln sind in Bezug auf die Eintheilungen der Röhre durch zwei auf einander folgende Wägungen bei 0° bestimmt worden. Durch die erste Wägung erhält man das Gewicht des Quecksilbers, das den Apparat bis zum Theilstriche n anfüllt; durch die zweite Wägung das Gewicht des Quecksilbers, das den Apparat bis zum Theilstriche $n+n'$ anfüllt.

Die Differenz $P'-P$ der beiden so erhaltenen Gewichte ist das Gewicht des Quecksilbers, das den Apparat bis n' Abtheilungen erfüllt, $\frac{P'-P}{n'}$ das Gewicht des in einer Abtheilung enthaltenen Quecksilbers.

Dasselbe Gewicht kann auch ausgedrückt werden durch $\frac{P-\pi}{X+n}$, wenn π das Gewicht der Hülle ausdrückt. Die Gleichung $\frac{P-\pi}{X+n} = \frac{P'-P}{n'}$ giebt das Volumen der Glaskugel.

Ehe man das die Glaskugel erfüllende Quecksilber austreibt, bestimmt man die Ausdehnung der Glashülle.

Die Gleichung

$$\left(1+\frac{1}{55,5}\right)N=(N+n)\,(1+K)$$

giebt in der Function des Volumens N, welches das Quecksilber bei 0° einnimmt, des scheinbaren Volumens $(N+n)$ desselben bei 100° und der Ausdehnung des Quecksilbers, die Ausdehnung K der innern Capacität der Röhre von 0° bis 100°.

Darauf ersetzt man das Quecksilber durch die zu prüfende Flüssigkeit, bestimmt die erforderliche Quantität desselben durch Versuche und schließt das Thermometer, nachdem die Luft daraus entfernt worden ist.

Sodann setzt man das Thermometer verschiedenen Temperaturen aus und erhält die Ausdehnung der Flüssigkeit nach der Gleichung:

$$N(1+D_t)=(N+n)\,(1+K_t).$$

D_t ist die nicht bekannte Ausdehnung der Flüssigkeit von 0° bis zu t°, K_t die vorher bestimmte Ausdehnung des Glases, N das Volumen der Flüssigkeit bei 0°, $N+n$ das scheinbare Volumen bei t°.

149. Vergleichung der Thermometer. Durch diese Beobachtungen für nahe liegende Temperaturunterschiede ist man im Stande, das gewöhnliche Quecksilberthermometer mit andern Thermometern, die sich auf die Ausdehnung der Flüssigkeiten gründen, zu vergleichen. Wir führen die von Pierre für absoluten Alkohol und für Wasser erhaltenen Resultate an.

Alkoholthermometer. Da der Alkohol bei 78,3° des gewöhnlichen Quecksilberthermometers und 760 Millimeter Barometerstand siedet, so hat man als feste Punkte 0° und 76,73° des Quecksilberthermometers genommen. Anders ausgedrückt: Bezeichnet man mit V_1 das Volumen des Alkohols bei 76,73°, V_0 sein Volumen bei 0°, so ist $V_1 = V_0\,(1 - 76{,}73°\alpha)$.

Folgende Tabelle enthält die den nämlichen Temperaturen entsprechenden Grade des Weingeist- und des Quecksilberthermometers.

Quecksilbertherm.:	76,73	60,41	39,93	16,93	6,98	—4,54	—15,44	—27,02	—32,22
Alkoholthermom.:	76,73	58,50	37,49	15,34	6,33	—3,98	—13,20	—22,73	—26,82

Die Vergleichung beider Reihen zeigt, daß die Angaben des Weingeistthermometers stets näher 0° sind als die des Quecksilberthermometers. Dies gilt sowohl für Temperaturen oberhalb als auch unterhalb des Schmelzpunktes des Eises.

Wasserthermometer. Das mit Wasser gefüllte Thermometer zeigt noch größere und unregelmäßigere Abweichungen, wie aus der folgenden Tabelle zu ersehen ist. Die festen Punkte dieses Thermometers sind 0° und 97,72° des Quecksilberthermometers:

Quecksilberthermometer:	97,72	81,44	64,05	52,52	35,87	21,24	14,44	8,03	6,16	0,80	—7,44	—13,14
Wasserthermometer:	97,72	70,40	45,18	30,22	14,07	4,39	1,52	0,05	—0,20	—0,10	+2,46	+ 6,51

150. Maximum der Dichte des Wassers. Das Wasser hat demnach bei 8° fast genau dasselbe Volumen wie bei 0°; unterhalb dieser Temperatur fährt das Wasser fort sich zu verdichten, bis die Dichte desselben zwischen 6,16° und 0,80° des Centesimalquecksilberthermometers ihr Maximum erreicht.

Die Temperatur des Maximums der Dichte des Wassers wird von den Physikern verschieden angegeben.

Nach Hällström ist dieselbe (t) = + 3,90°;
" Stampfer " " " + 3,75°;
" Rudberg " " " + 4,02°;
" Despretz " " " + 3,997°.

Man kann also annehmen, daß die Dichte des Wassers bei t 4° C. ihr Maximum erreicht.

151. Empirische Formeln für die Ausdehnung. Die Kenntniß der Ausdehnung ist für die Praxis von großer Wichtigkeit.

Im Allgemeinen nimmt man an, daß zwischen 0° und 100° das Quecksilber sich proportional den Temperaturen ausdehnt und daß sich Eisen, Kupfer und andere häufig angewandte Metalle eben so verhalten. Versuche von Dulong und Petit zeigen, daß diese regelmäßige Ausdehnung nicht viel über 100° reicht.

Ausdehnung der Metalle. Es läßt sich also ohne einen großen Irrthum zu begehen, annehmen, daß das Volumen eines Metalles bei Temperaturen zwischen 0° und 100° und bei niedrigeren und höheren Temperaturen, die von den erwähnten beiden Punkten nicht zu sehr entfernt liegen, durch die Formel V(1+VK) ausgedrückt wird, wenn K den Ausdehnungscoefficient zwischen 0° und 100° bedeutet.

Die Ausdehnung der Flüssigkeiten kann selbst bei geringen Intervallen nicht durch eine Linearformel ausgedrückt werden; durch folgende Formel wird sie ziemlich genau ausgedrückt:

$$D = AT + BT^2 + CT^3,$$

wo D die Ausdehnung bedeutet.

152. Reduction der Barometerhöhe. Es ist schon weiter oben die Nothwendigkeit der Barometerhöhen auf Null hervorgehoben worden; mit Hülfe hydrostatischer Principien (vergl. Seite 72) wurde gefunden, daß

$$H_0 = H\frac{\delta}{\delta_0};$$

H_0 bedeutet die reducirte Höhe, H die bei der Temperatur t beobachtete Höhe, δ_0 und δ die entsprechenden Dichten des Quecksilbers:

Da nun, wie früher festgestellt worden ist:

$$\frac{\delta_0 - \delta}{\delta} = K.t \text{ und } \frac{\delta}{\delta_0} = \frac{1}{1+Kt}$$

(vergl. Seite 108), so wird die reducirte Höhe ausgedrückt durch:

$$H_0 = H\frac{1}{1+Kt}\; K = \frac{1}{5550}.$$

Correction der Ausdehnung der Skala. Die Zahl H bedarf noch der Correction der Ausdehnung der Skala.

Wir nehmen an, daß die Abtheilungen bei 0° bezeichnet worden sind und daß sie bei dieser Temperatur Millimetern entsprechen.

Steigert sich die Temperatur auf t, so wird jedes Millimeter $1 + \lambda t$, wenn λ die Linearausdehnung der Substanz, auf welcher sich die Skala befindet, bedeutet. Die Abtheilungen H von der Skala abgelesen sind folglich gleich $H(1 + \lambda t)$ Millimeter.

Die in Bezug auf die Ausdehnung der Skala reducirte Barometerhöhe ist:

$$H \cdot \frac{1+\lambda t}{1+Kt}$$

$\lambda = \frac{1}{53300}$ für das Messing.

153. Correction der Dichten. Es ist früher auseinandergesetzt worden, auf welche Weise man die Dichte eines Körpers mit der Dichte des Wassers vergleichen kann (vergl. S. 57). Die nach diesem Verfahren erhaltenen Zahlen lehren die Beziehungen zweier Dichten bei der nämlichen Temperatur.

Um die Zahl, welche das specifische Gewicht einer Substanz ausdrückt, abzuleiten, ziehen wir in Betracht, daß man als Einheit des Gewichts das Gewicht eines Kubikcentimeters destillirten Wassers bei $+ 4^{\circ}$ C. angenommen hat; folglich wird die Dichte des Wassers bei $+ 4^{\circ}$ als Einheit der Dichten genommen.

Wenn man mit δ die Dichte des Wassers bei t bezeichnet, so wird seine Dichte δ_0 bei $+ 4^{\circ}$ durch die Formel $\frac{\delta_0 - \delta}{\delta}$ ausgedrückt; $\delta_0 = \delta(1 + D)$.

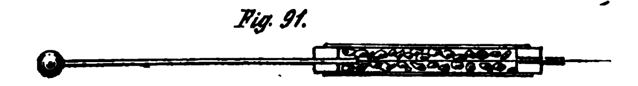
D ist die Ausdehnung des Glases von $+ 4^{\circ}$ zu t.

Das Verhältniß m der Dichte Δ einer Substanz zu der Dichte δ des Wassers nach irgend einer der beschriebenen Methoden erhalten, muß demnach durch $(1 + D)$ dividirt werden, um das Verhältniß $\frac{\Delta}{\delta_0}$, d. h. das specifische Gewicht des Körpers oder die Anzahl Grammen auszudrücken, welche ein Kubikcentimeter bei der Temperatur t enthält.

Aus dem Ausdrucke dieser Dichte bei der Temperatur t berechnet man leicht die Dichte bei 0° nach der Formel: $\frac{\Delta_0 - \Delta}{\Delta} = Kt$, vorausgesetzt, daß die Ausdehnung K der Substanz bekannt ist.

154. Ausdehnung der Luft. Gay-Lussac hat die Ausdehnung der Luft vermittelst eines Thermometers bestimmt, das dem für die Flüssigkeiten angewendeten ähnlich ist (Fig. 91). Kugel und

Fig. 91.



Röhre wurden mit durch Chlorcalcium getrockneter Luft gefüllt und die innere Luft von der äußeren durch eine kleine Quecksilbersäule getrennt, welche zugleich auf der graduirten Röhre als Index das Luftvolumen angiebt. Bringt man den Apparat in schmelzendes Eis, so giebt der Index das Volumen der Luft bei 0° an. Wird darauf die Röhre in ein Wasserbad gebracht, dessen Temperatur durch ein Thermometer genau bestimmt ist, so dehnt sich die Luft aus und man erfährt das durch die Wärme vergrößerte Volumen der eingeschlossenen Luft.

Gay-Lussac fand auf diese Weise 0,375 für die Ausdehnung der Einheit als Volumen von 0°—100°.

Diese Zahl wurde bald allgemein angenommen, um die Ausdehnung aller permanenten Gase auszudrücken. Man nahm ferner an, daß diese Ausdehnung unabhängig von dem Drucke des Gases sei, so daß, wenn das Gas eine Veränderung des Volumens von 0,375 unter dem Drucke H erleidet, dieselbe Volumenveränderung unter dem Drucke nH stattfinden wird.

Rudberg hat später Versuche angestellt, aus welchen hervorgeht, daß 1000 Volumen Luft von 0° zu 1365 Volumen von 100° werden. Den neuesten Versuchen von Magnus und Regnault zufolge beträgt die Ausdehnung der Luft von 0—100° 0,366 oder $\frac{11}{30}$ ihren Volumen bei 0°, woraus hervorgeht, daß die Luft sich für jeden Grad der hundertheiligen Skala $\frac{1}{273}$ ihres Volumens bei 0° ausdehnt.

Regnault zeigte ferner, daß die Ausdehnung eines Gases von seiner Natur abhängig sey, und daß dieselbe mit dem Drucke ungleichmäßig für jedes Gas wächst. Die Ausdehnung von 0 bis 100° beträgt nach Regnault:

für Wasserstoffgas	0,3667
für Stickstoffgas	0,3668
für Kohlensäuregas	0,3689
für Kohlenoxydgas	0,3666.

155. Beziehung zwischen dem Volumen, dem Druck und der Temperatur eines Gases. Wenn der Druck nur sehr geringe

Veränderungen erleidet, so nimmt man allgemein, wenigstens für die permanenten Gase an, daß die Ausdehnung unabhängig von dem Drucke sey. Mit Hülfe dieser Hypothese, die man in Frankreich mit dem Namen des Gay-Lussac'schen Gesetze bezeichnet, stellt man eine sehr häufig in der Praxis angewandte Beziehung zwischen dem Volumen, dem Druck und der Temperatur einer constanten Gasmasse her.

V bezeichne das Volumen dieser Masse bei dem Drucke H und der Temperatur t; V' sein Volumen bei der Temperatur t' und dem Drucke H'. V'' drücke aus, was V' gewesen wäre, wenn der Druck H unverändert geblieben wäre, so haben wir:

$$V : V'' = 1 + \alpha t : 1 + \alpha t';$$

übrigens ist:

$$V'' : V' = H' : H,$$

daraus

$$\frac{VH}{V'H'} = \frac{1+\alpha t}{1+\alpha t'}. \qquad (1)$$

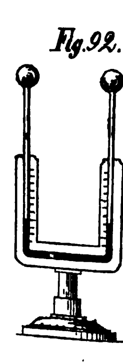
Gesetz des Druckes. Aus diesem Verhältniß leitet man ab, wenn V = V':

$$H : H' = 1 + \alpha t : 1 + \alpha t' \qquad (2)$$

Die Elasticitätsvariationen in der Masse eines Gases, das unter constantem Volumen verschiedenen Temperaturen ausgesetzt ist, finden nach demselben Gesetze statt wie die Variationen des Volumens unter constantem Drucke.

Gesetz der Dichten. Wenn man aus der Gleichung $\frac{VH}{V'H'} = \frac{1+\alpha t}{1+\alpha t'}$ und der Gleichung $V\delta = V'\delta'$ die ausdrückt, daß die Masse des Gases constant ist, V und V' eliminirt, so entsteht

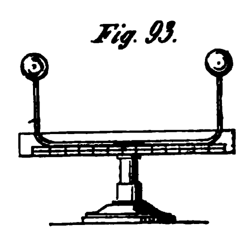
$$\frac{\delta}{\delta'} = \frac{H}{H'} \cdot \frac{1+\alpha t}{1+\alpha t'}. \qquad (3)$$


Fig. 92.

Dieses Verhältniß giebt die Dichte eines Gases bei der Temperatur t' und dem Drucke H', wenn man die Dichte dieses Gases bei dem Drucke H und der Temperatur t kennt.

156. Differentialthermometer. Das Differentialthermometer von Leslie (Fig. 92) dient zum Messen kleiner Temperaturunterschiede. Es besteht aus zwei Kugeln, die durch eine zweimal rechtwinklig gebogene Röhre mit einander in Verbindung stehen. Ein Index einer gefärbten Flüssig-

keit in der Röhre giebt den Unterschied des Druckes oder die Differenz der Volumen an, wenn die Temperatur der einen Kugel sich verändert. Bei dem ähnlichen Instrument von Rumford (Fig. 93) befindet sich in der Horizontalröhre nur eine sehr kleine Menge einer Flüssigkeitssäule. Die Horizontalröhre ist graduirt. Steigert sich die Temperatur der einen Kugel, so steigt der Index nach der andern Kugel hin und seine Entfernung vom Nullpunkte ist proportional dem Temperaturunterschiede der Kugeln.


Fig. 93.

Dreizehntes Kapitel.

Von der strahlenden Wärme.

157. Hypothesen über die Natur der Wärme. — 158. Strahlende Wärme — 159. Gradlinige Fortpflanzung der Wärme. Reflexion. — 160. Gesetz der Strahlung. — 161. Leslie's Apparat. — 162. Messen der Strahlung. — 163. Ausstrahlungsvermögen. — 164. Gesetz der Entfernung. — 165. Einfluß des Winkels. — 166. Erwärmung eines materiellen Punktes. — 167. Absorptionsvermögen. — 168. Beziehung zwischen dem Absorptionsvermögen und dem Ausstrahlungsvermögen. — Reflexionsvermögen.

157. Hypothesen über die Natur der Wärme. Es giebt zwei Hypothesen, um die Erscheinungen der Wärme zu erklären; diese Hypothesen heißen die Emanations- oder Emissionstheorie und die Wellen- oder Undulationstheorie.

Die Emanations- oder Emissionstheorie betrachtet die Moleküle der wägbaren Körper als mit einem außerordentlich feinen unwägbaren elastischen Fluidum umgeben, das man Wärmestoff oder Caloricum nennt.

Dieses Fluidum, welches man als die Hauptursache der Molekülarabstoßung ansieht, verbreitet sich jeden Augenblick mit großer Geschwindigkeit nach allen Richtungen hin und bewirkt die Wärmestrahlung. Diese Strahlung durchläuft den leeren Raum, wird aber ganz oder zum Theil in den wägbaren Substanzen aufgehalten und ruft in denselben thermometrische Erscheinungen hervor.

Die Dichte und folglich die Spannung des Wärmestoffes in der außerordentlich feinen Atmosphäre, welche derselbe um die Körper bildet, bedingen die verschiedenen Temperaturen. Wenn die Dichte des Wärmestoffes zunimmt, so steigert sich die Temperatur, wenn sie dagegen abnimmt, so sinkt die Temperatur.

Die Volumina dieser feinen Atmosphären verändern sich mit der Natur der wägbaren Moleküle. Der Verlust der nämlichen Quantität Wärmestoffes erzeugt demnach in verschiedenen Körpern ungleiche Variationen der Spannung und der Temperatur. Auf diese Weise erklärt man die specifische Wärme oder die Wärmecapacität.

Die Veränderung des Aggregatzustands der Körper wäre demnach mit einer beträchtlichen Veränderung in dem Volumen der erwähnten Atmosphären begleitet. Dieses Volumen würde größer seyn in einer Flüssigkeit als in dem festen Körper, in dem gasförmigen Körper größer als in der Flüssigkeit. Nach der Emanationstheorie lassen sich also die eigenthümlichen Erscheinungen erklären, welche die Veränderung des Aggregatzustands begleiten und characterisiren.

Die Wellen- oder Undulationstheorie nimmt an, daß die Atmosphären, womit die Moleküle umgeben sind, nicht fortwährend durch Emission abnehmen, sondern daß diese Atmosphären nur der Sitz von Vibrationen seyen. Diese Bewegungen pflanzen sich in einem unwägbaren, außerordentlich feinen und elastischen, und überall verbreiteten Fluidum fort und erzeugen auf diese Weise die Strahlung.

Die Wärmewelle, die sich in dieser elastischen Flüssigkeit — Aether genannt — eben so wie die Schallwelle, oder die Welle, die man auf der Oberfläche eines ruhigen Wassers sich fortbewegen sieht, fortpflanzt, äußert sich durch eine eigenthümliche Affection unseres Gefühlsvermögen. Die zu gleicher Zeit auftretenden Temperaturerscheinungen treten um so stärker hervor, je intensiver die Vibrationen sind.

Es ist noch nicht an der Zeit, sich bestimmt für die eine oder die andere der beiden Hypothesen zu erklären. Wir betrachten beide als empirische Formeln, welche das Studium und die Interpretation der Erscheinungen erleichtern und den Zusammenhang der Erscheinungen unter einander vermitteln helfen. In dieser Beziehung verdient die Emissionstheorie den Vorzug, da die meisten Wärmephänomene durch die Annahme, daß der Wärmestoff etwas Materielles sey, leicht erklärt werden können. Auf der anderen Seite aber, wenn man in Erwägung zieht, daß ein Wärmestrahl einem Schallstrahl und einem Lichtstrahl zu vergleichen ist, wenn uns neuere Untersuchungen lehren, daß ein Wärmestrahl zugleich

auch Lichtstrahl sein kann, die Undulationstheorie ferner für die Erklärungen der Lichterscheinungen die einzig zulässige ist, so ist es wahrscheinlich, daß die Schwingungen der Wärme und des Lichtes dieselben sind. Wir sehen übrigens, daß die Undulationstheorie auf bessere und vollständigere Weise die Wärmeerscheinungen erklärt als die Emissionstheorie.

158. Strahlende Wärme. Unser Gefühl lehrt uns jeden Augenblick, daß die Wärme sich in die Entfernung fortpflanzt und daß die Wirkung der Wärme eben so wie die Wirkung des Lichtes schnell von der Quelle in unsere Organe übertragen wird. Wenn die Sonne über dem Horizont erscheint, so sendet sie uns zu gleicher Zeit Wärme und Licht; die Wirkung eines Feuers äußert sich sogleich auf unsere Sinne und auf empfindliches Thermometer.

Es entsteht nun die Frage, woraus das Mittel besteht, das sich zwischen der Quelle der Wärme und unseren Organen befindet, und auf welche Weise die schnelle Uebertragung vor sich geht. In Bezug auf diesen Punkt müssen wir uns mit Hypothesen begnügen. Wir können nur zeigen, daß die wägbaren Mittel, die sich zwischen uns und der Quelle befinden, bei der Uebertragung nicht in Betracht kommen.

Die Wärme, welche uns nebst dem Lichte von der Sonne mitgetheilt wird, hat erst einen unendlichen Raum zu durchlaufen, ehe sie die äußersten Gränzen der Erdatmosphäre erreicht. Ein in der Mitte eines luftleeren Ballons aufgehängtes Thermometer steigt augenblicklich, sobald man den Ballon in ein Gefäß mit heißem Wasser taucht. Der stationäre Zustand eines der Einwirkung von Wärmestrahlen ausgesetzten Thermometers wird durch die Bewegung der zwischen dem Thermometer und der Wärmequelle befindlichen Luft nicht verändert.

Diese Beispiele zeigen, daß die Uebertragung der Wärme in einem Mittel stattfindet, dessen statischer Zustand durch die Bewegungen der wägbaren Mittel nicht verändert ist.

159. Gradlinige Fortpflanzung der Wärme. Reflexion. Die Analogie, welche zwischen der Wärmestrahlung und der Lichtstrahlung stattfindet, giebt sich bei den meisten Erscheinungen der freien Wärme zu erkennen.

1. Die Wärme pflanzt sich gradlinig fort;

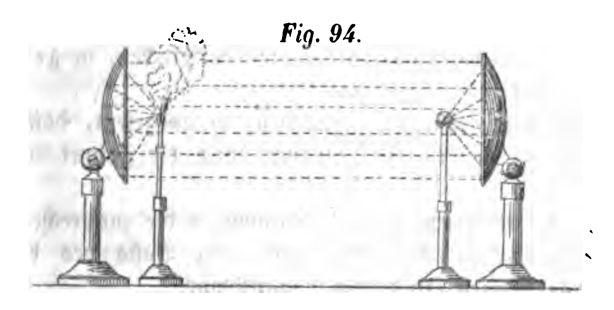
2. An der gemeinsamen Oberfläche zweier Mittel wird die Wärme reflectirt. Das Reflectionsgesetz ist dasselbe

wie bei der Reflexion der Lichtstrahlen. **Der reflectirte Strahl bleibt in der Einfallsebene und der Reflectionswinkel ist dem Einfallswinkel gleich.**

Beide Gesetze werden später bei dem Lichte bewiesen werden; vor der Hand nehmen wir sie mit allen ihren Consequenzen an, um die angedeuteten Analogien weiter verfolgen zu können.

Um die gradlinige Fortpflanzung des Lichts nachzuweisen, stellt man zwei metallene Hohlspiegel (Fig. 94) einander so gegenüber, daß die

Fig. 94.



Hauptaxen beider Spiegel in derselben Linie liegen. In den Brennpunkt des einen Spiegels bringt man einen erwärmten Körper, in den Brennpunkt des andern ein Thermometer. In der Mitte zwischen beiden Spiegeln befindet sich ein Schirm. So wie der Schirm entfernt wird, bemerkt man sogleich ein Steigen des Thermometers. Bringt man in den Brennpunkt des einen Spiegels ein Stück Eis, in den Brennpunkt des anderen die Kugel eines Differentialthermometers, so zeigt das letztere eine Temperaturabnahme. Die Bewegung des Index des Thermometers findet nur im Brennpunkt statt; wenn man das Thermometer aus dem Brennpunkt des Spiegels entfernt und es außerhalb der Axe entweder dem Spiegel nähert oder von demselben entfernt, so bemerkt man keine thermometrische Erscheinung.

Der Focus oder Brennpunkt eines Hohlspiegels hat also die Eigenschaft die Wärme zu concentriren, ebenso wie derselbe die Lichtstrahlen concentrirt. Die Strahlung der Wärme geschieht geradlinig; die Strahlen pflanzen sich fort und werden ebenso wie die Lichtstrahlen reflectirt.

Wenn der im Brennpunkte des einen Spiegels befindliche Körper glühend ist, so können die im Brennpunkte des zweiten Spiegels vereinigten Strahlen einen Körper entzünden. Man entzündet

auf diese Weise Schwamm und Schießpulver mittelst einer glühenden eisernen Kugel.

Bei diesen Versuchen ist die Bewegung der Luft zwischen den beiden Spiegeln ohne Einfluß auf die Resultate.

160. Gesetz der Strahlung. Wenn man in einem leeren Raume von constanter Temperatur t, das Sinken der Temperatur eines Thermometers, dessen Temperatur $t+\Theta$ beträgt, beobachtet, so bemerkt man, daß die veränderlichen Ueberschüsse Θ, welche durch Beobachtungen von Minute zu Minute bestimmt werden und folglich Zeiten in arithmetischer Progression entsprechen, in geometrischer Progression abnehmen.

Dieses Gesetz läßt sich beobachten, vorausgesetzt, daß Θ nicht 10—15° überschreitet. Es läßt sich durch die Formel $\Theta = \Theta_0 a^x$ ausdrücken.

Θ ist der thermometrische Ueberschuß, x die entsprechende Zeit, Θ_0 der ursprüngliche Ueberschuß und a die Basis des durch die beiden Progressionen ermittelten Logarithmus.

Die Geschwindigkeit des Index im Thermometer in der Zeit x, welche man die Geschwindigkeit der Strahlung nennt, läßt sich aus der abgeleiteten Function $\Theta_0 a^x$ berechnen und ist gleich $V = \Theta \log_n (A)$; $A = \frac{1}{a}$.

Die Geschwindigkeit der Strahlung eines Thermometers ist demnach in jedem Augenblicke proportional dem thermometrischen Ueberschuß, wenn dieser Ueberschuß hinlänglich klein ist.

Der Ausdruck der Schnelligkeit der Strahlung für bestimmte Temperaturen ist von Dulong und Petit gefunden worden; er ist abhängig von der Temperatur des sich abkühlenden Thermometers.

Die Geschwindigkeit des Abkühlens in der Luft ist dadurch bestimmt worden, daß man bei übrigens gleichen Bedingungen einen Ausdruck hinzufügt, welcher von dem Drucke der Luft und dem thermometrischen Ueberschusse abhängig ist.

Geschwindigkeit der Abkühlung. Bei den anzuführenden Versuchen variirt der Druck entweder sehr wenig oder bleibt constant; der Ueberschuß ist sehr unbedeutend.

Für die Geschwindigkeit des Abkühlens in der Luft kann man folgende Formel annehmen:

$$U = (\log_n A) . \Theta + N\Theta = (N + \log A)\Theta = R . \Theta.$$

Die Wärmemenge, welche das Thermometer in der Einheit

der Zeit verliert, wenn Θ constant bleibt, wird ausgedrückt durch $mc.U = mc.R\Theta$; mc drückt die Menge der Wärme aus, welche das Thermometer bei der Abkühlung um 1^0 verliert.

Die Wärmemenge, welche jeden Augenblick aus einem Thermometer zu entweichen sucht, ist proportional dem Ueberschusse seiner Temperatur über die des ihn umgebenden Mittels.

Dieses Gesetz dient uns zum Studium der Gesetze der strahlenden Wärme.

161. Leslie's Apparat. Der zu diesem Zwecke von Leslie construirte Apparat (Fig. 95) besteht aus drei Theilen, nämlich aus

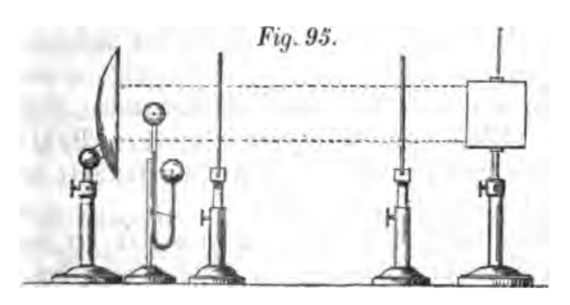


Fig. 95.

einer erhitzten strahlenden Fläche, einem Hohlspiegel, welcher die Wärmestrahlen concentrirt, und einem Differentialthermometer, das sich in dem Brennpunkte des Spiegels befindet. Die strahlende Fläche ist die Seite eines Metallwürfels, der mit heißem Wasser angefüllt ist; die anderen Flächen sind verschiedenartig bekleidet und lassen sich durch Drehung des Würfels dem Spiegel zuwenden.

162. Messen der Strahlung. Die auf die Oberfläche eines Körpers fallende Wärme theilt sich in drei Theile, in einen absorbirten, einen reflectirten und einen zerstreuten Theil.

Man nimmt an, daß die Beziehungen zwischen diesen drei Quantitäten nur von der Natur und dem Zustand des Reflectors abhängen und daß sie unveränderlich dieselben bleiben, welche auch die Quelle sei.

Nach dieser Hypothese kann die Angabe des Thermometers, wenn dieselbe stationair geworden ist, zum Messen der ausgestrahlten Wärme benutzt werden.

Bezeichnet man mit Q die Wärme, welche in der Einheit der Zeit von der strahlenden Oberfläche auf den Reflector übergeht, mit

$\frac{1}{r}$ die constante Fraction, welche durch den Spiegel reflectirt wird, mit $\frac{1}{a'}$ die von der Thermometerkugel absorbirte Fraction, so wird die Wärmemenge, welche die Ausdehnung der Luft im Thermometer bewirkte, ausgedrückt durch $\frac{1}{r} \cdot \frac{1}{a'} Q$. Wenn das Thermometer die stationäre Temperatur Θ angiebt, so kann man schreiben $\frac{1}{r'} \frac{1}{a'} Q = M\Theta$.

$M\Theta$ ist nach Seite 124 die in der Einheit der Zeit von dem Thermometer verlorne Wärmemenge: die Gleichung sagt, daß diese Wärmemenge durch den warmen Körper ersetzt wird.

163. Ausstrahlungsvermögen. Wenn man die übrigen, mit verschiedenen Substanzen bekleideten Seiten des Würfels, die aber auf die nämliche Temperatur gebracht worden sind, gegen den Reflector dreht, so bemerkt man andere thermometrische Ueberschüsse.

Daraus schließt man, daß unter denselben Bedingungen Oberflächen von verschiedener Beschaffenheit nicht dieselbe Wärmemenge ausstrahlen.

Die Vergleichung dieser Wärmemengen oder der beobachteten Effecte auf einem Thermometer giebt uns das Maß des Ausstrahlungsvermögens der Substanzen.

Drückt man das Ausstrahlungsvermögen des Kienrußes durch 100 aus, so findet man für die Ausstrahlungsvermögen anderer Substanzen gewöhnlich kleinere Zahlen. So fand Melloni für Bleiweiß 99, für Firniß 97, für Hausenblase 96, für Glas 93, für Graphit 86.

164. Gesetz der Entfernung. Wenn man die Entfernung einer strahlenden Fläche von dem Reflector verändert, so findet man, daß die Intensität der Wärmestrahlen im Verhältniß des Quadraten der Entfernung von der Wärmequelle abnimmt.

165. Einfluß des Winkels. Die Intensität der Wärme, die von einem Körper ausgestrahlt wird, ist von der Neigung der Strahlen zu seiner Oberfläche abhängig; die Intensität ist proportional dem Sinus des Emissionswinkels.

Dieses Gesetz läßt sich mit Hülfe des Apparates von Leslie nachweisen.

Man bringt zu dem beschriebenen Apparat zwei zur Axe perpendiculare Schirme, die zwei gleiche Oeffnungen haben, welche zur

Axe concentrisch und so groß sind, daß der Cylinder, welchen sie bilden, die Fläche des Würfels trifft, welche dem Reflector gegenüber steht.

Nachdem der Stand des Barometers beobachtet worden ist, und die Fläche parallel den Schirmen steht, neigt man diese Fläche auf verschiedene Weise, indem man den Würfel auf seiner Unterlage dreht. Der Index erfährt keine merkliche Verrückung, daraus zieht man den Schluß, daß der Reflector für alle Neigungen dieselbe Wärmemenge empfängt und auf das Thermometer überträgt.

Bezeichnet man mit s, s' die Theile der Oberfläche, welche Strahlen gegen den Reflector in den Neigungen α und α' abgeben, so hat man dem Versuch zufolge $is = i's'$; übrigens ist

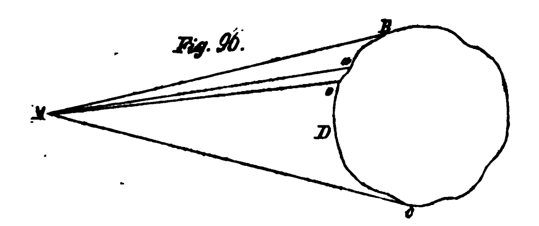
$$\frac{s}{s'} = \frac{\sin \alpha'}{\sin \alpha};$$

demnach

$$\frac{i}{i'} = \frac{\sin \alpha}{\sin \alpha'}.$$

166. Erwärmung eines materiellen Punktes. Aus dem Gesetz des Sinus und dem Gesetz der Entfernung läßt sich leicht der Schluß ziehen, daß die Erwärmung eines materiellen Punktes, der sich in der Nähe eines erwärmten Körpers befindet, proportional der Intensität der Wärme ist, welche normal von der Oberfläche dieses Körpers auf seiner scheinbaren Oberfläche ausgestrahlt wird.

BDC (Fig. 96) sei eine strahlende Fläche, M ein materieller, der



Einwirkung dieser Strahlen ausgesetzter Punkt; die Wärmemenge, welche er von einem unendlich kleinen Element, wie von ab erhält, wird ausgedrückt durch

$$\frac{i \omega \sin \alpha}{r^2},$$

r ist die Länge des Strahles Ma, α der Winkel dieses Strahles,

mit dem Elemente ab, ω die Fläche von ab, i die Intensität der normal ausgestrahlten Strahlen.

Ein jeder materielle Punkt, welcher der Einwirkung der Wärme ausgesetzt ist, die von irgend welchen, aber in Kegeln von gleichen Oeffnungen begriffenen Flächen ausstrahlt, erleidet thermometrische Veränderungen, welche den Intensitäten der von diesen Oberflächen normal ausgestrahlten Strahlen proportional ist.

167. Absorptionsvermögen. Die Größe dieser Variationen ist von der specifischen Wärme (s. weiter unten) und von dem Absorptionsvermögen des materiellen Punktes abhängig.

Es ist leicht nachzuweisen, daß die Kraft, Wärmestrahlen zu absorbiren, je nach der Natur der Substanz verschieden ist.

Zu diesem Zwecke bringt man ein sehr empfindliches Thermometer, nachdem man es hat erkalten lassen, in einen leeren Raum von constanter Temperatur. Wenn man nun genau jede Minute die Räume Θ beobachtet, welche der Index des Thermometers noch zu durchlaufen hat, um die Temperatur der Umgebung zu erreichen, so findet man, daß die Werthe von Θ, von Minute zu Minute beobachtet, in abnehmender geometrischer Progression sind.

Das Gesetz der Absorption ist also dasselbe wie das der Strahlung.

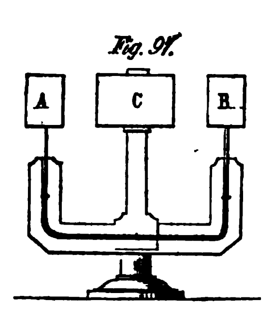
Wenn man denselben Versuch unter den nämlichen Bedingungen wiederholt, nachdem man das Thermometer mit verschiedenen Substanzen überzogen hat, so beobachtet man dasselbe Gesetz, die Größe der Progression ist aber mit jeder Substanz eine andere.

Verschiedene Substanzen absorbiren folglich unter übrigens denselben Bedingungen nicht dieselbe Wärmemenge.

Wenn man die umgekehrten Bewegungen des nämlichen Thermometers bei Entfernungen von derselben Amplitude oberhalb und unterhalb der nämlichen Temperatur beobachtet, so bemerkt man zwei identische Reihen. Daraus läßt sich schließen, daß das Absorptionsvermögen einer Substanz gleich seinem Ausstrahlungsvermögen ist.

Die Richtigkeit dieses Gesetzes läßt sich durch einen sehr einfachen Versuch bei einer großen Anzahl von Substanzen nachweisen

168. Beziehung zwischen dem Absorptionsvermögen und dem Ausstrahlungsvermögen. Der von Dulong angewendete Apparat besteht aus einem Differentialthermometer mit cylindrischen



Reservoirs (Fig. 97). Die Axen dieser Cylinder sind horizontal nach derselben Linie hingerichtet, ihre Seitenflächen sind physikalisch identisch, ihre Basen sind aber mit Substanzen von verschiedener Natur überzogen. Die eine A z. B. ist mit Kienruß, die andere B mit einem Metallblättchen überzogen. Ein horizontaler Cylinder C enthält heißes Wasser und strahlt gegen die beiden Thermometer Wärme aus. Die nach A hingewendete Seite ist mit Metall, die nach B zugedrehte Seite mit Kienruß überzogen.

Wenn der Cylinder mit siedendem Wasser angefüllt ist und man ihn in gleiche Entfernungen von A und von B bringt, so findet keine Bewegung des Index statt. Beide Reservoirs nehmen demnach dieselbe Wärmemenge auf.

Die von A aufgenommene Wärmemenge ist proportional dem Absorptionsvermögen des Kienrußes und dem Ausstrahlungsvermögen des Metalles. Sie kann ausgedrückt werden durch $K. A_n E_m$. Eben so ist die von B aufgenommene Wärme proportional dem Absorptionsvermögen des Metalles und dem Ausstrahlungsvermögen des Kienrußes; sie läßt sich ausdrücken durch $K' A_m E_n$.

Die Constanten K und K' sind gleich, denn die Bedingungen, unter denen der Versuch angestellt worden ist, sind auf beiden Seiten gleich. Daher:

$$A_m . E_n = A_n . E_m, \text{ und } \frac{A_m}{E_m} = \frac{A_n}{E_n}$$

Das Absorptionsvermögen einer Substanz ist demnach proportional dem Ausstrahlungsvermögen.

Hat man für den Kienruß $A_n = E_n$, so kann man schließen, daß man für das Metall $A_m = E_m$ erhält.

169. Reflexionsvermögen. Vermittelst des Apparates von Leslie (Fig. 95) ist man im Stande, das Reflexionsvermögen der Körper für die Wärme zu bestimmen. Eine polirte Platte von der zu untersuchenden Substanz wird perpendicular zu der Axe des Reflectors gestellt und nach dem Spiegel zu gedreht. Die Strahlen brechen sich, indem sie sich begegnen, und vereinigen sich in einem symmetrischen Punkte. In diesen Punkt bringt man die Kugel eines

Differentialthermometers und wartet, bis der Index stationär geworden ist. Die Angaben des Thermometers variiren nach der Natur der Substanz. Sie sind proportional der reflectirten Wärmemenge, wie aus folgender Gleichung hervorgeht:

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{1}{R} \cdot \frac{1}{a_1}, \quad Q = M\Theta;$$

$\frac{1}{R}$ ist die Veränderliche für eine Substanz in Bezug auf die andere, welche die von der Platte reflectirte Wärmemenge mißt.

Vierzehntes Kapitel.

Von der Wärmeleitung.

170. Bewegliches Gleichgewicht der Temperaturen. — 171. Fortpflanzung der Wärme in den Körpern. — 172. Innere Leitungsfähigkeit. — 173. Aeußere Leitungsfähigkeit. — 174. Fortpflanzung der Wärme in einem Stabe. — 175. Bestimmung des Wärmeleitungscoefficienten. — 176. Sogenannte kalte Körper. — 177. Fortpflanzung der Wärme in Flüssigkeiten. — 178. Fortpflanzung der Wärme in Gasen. — 179. Conservation der Wärme.

170. Bewegliches Gleichgewicht der Temperaturen. Aus den im vorstehenden Kapitel angeführten Erscheinungen geht hervor, daß die Körper fortwährend Wärme ausstrahlen. Diese Ausstrahlung findet bei jeder Temperatur, aber mit verschiedener Intensität statt.

Betrachtet man mehrere Körper bei derselben Temperatur, so wird die in jedem Augenblicke von einem dieser Körper ausgestrahlte Wärme durch die von anderen Körpern ausgestrahlte Wärme ersetzt und es findet durch gleichmäßigen und fortgesetzten Austausch Gleichgewicht der Temperatur statt.

Nimmt man hingegen an, daß nicht alle diese Körper gleiche Temperatur haben, so wird die von dem Körper, welcher die höchste Temperatur besitzt, ausgestrahlte Wärme nicht vollständig durch die von den anderen Körpern ausgestrahlte Wärme compensirt, und die Temperatur desselben muß sinken. Umgekehrt wird die Temperatur der anderen Körper sich steigern und die Temperaturen aller Körper werden erst nach kürzerer oder längerer Zeit gleich werden.

171. Fortpflanzung der Wärme in den Körpern. Diese Bewegungserscheinungen der Wärme gehen unabhängig von der Natur, dem Volumen und der Entfernung der Körper vor sich; sie

finden eben sowohl zwischen den Molekülen, aus welchen die Körper zusammengesetzt sind, als zwischen den Körpern selbst statt. Die Fortpflanzung der Wärme von den erhitzten Theilen zu den kälteren Theilen geschieht durch fortwährende Strahlung; die Moleküle der warmen Stellen geben Wärme an die Moleküle der kälteren, aber in geringerer Quantität.

Das Vermögen der Körper, die Wärme ihrer erwärmten Theile auf die kälteren zu übertragen, bildet ihre Leitungsfähigkeit.

172. Innere Leitungsfähigkeit. Stellen wir uns einen homogenen Stab vor, der sich an dem einen Ende an einer Wärmequelle befindet; die erste Schicht der Moleküle, welche mit der Wärmequelle in unmittelbarer Berührung steht, nimmt Wärme auf und pflanzt dieselbe auf die nächste Schicht fort u. s. w. Die Temperatur wird sich nun steigern, bis jede Schicht an die nächstfolgende so viel Wärme abgegeben, als sie von der vorhergehenden empfangen hat.

In diesem Moment sind die Temperaturen stationär, aber je nach den Schichten verschieden.

Die Temperatur t einer in der Entfernung x von der Wärmequelle befindlichen Schicht ist mit den äußersten Temperaturen a und b durch die Formel:

$$t = a - \frac{a-b}{l} x$$

vereinigt; l ist die Länge des Stabes.

Diese Formel erhält man, wenn man von der Seitenausstrahlung absieht. Der Zweck des Buches gestattet nicht, in die Einzelnheiten dieser Betrachtungen, die sich an das Vorhergehende knüpfen würden, näher einzugehen.

Für die Differenz der Temperaturen zweier Schichten, die sich in den Entfernungen x, x′ von dem erwärmten Ende befinden, leitet man ab:

$$t - t' = \frac{a-b}{l} (x' - x).$$

Betrachtet man (x′—x) als unendlich klein, so können die beiden Schichten gegeneinander strahlen und die Wärmemenge, welche von der warmen Schicht auf die kalte übergeht, ist nach dem Gesetz von Newton (Siehe Seite 124) proportional der Differenz der Temperaturen t—t′, folglich dem Quotient $\frac{a-b}{l}$.

Diese Wärmemenge läßt sich demnach bestimmen, wenn man die Wärmemenge K kennt, welche von einer Schicht zu der benachbarten in einem Stabe von derselben Natur für $\frac{a-b}{l} = i$ übergeht; man erhält sie, indem man K mit $\frac{a-b}{l}$ multiplicirt.

Wärmeleitungscoefficient. Diese Quantität K ist abhängig von der Natur der Substanz; sie mißt das Leitungsvermögen derselben. Man hat sie mit dem Namen der innern Leitungsfähigkeit bezeichnet.

Dieser Coefficient ist demnach die Wärmemenge, welche, wenn man die Seitenstrahlung unberücksichtigt läßt, in der Einheit der Zeit die Einheit der Fläche eines Abschnittes eines Stabes durchläuft, dessen Länge die Einheit ist und dessen äußere Temperaturen um eine Einheit differiren.

173. Aeußere Leitungsfähigkeit. Der oben beschriebene Fall ist ein rein idealer, denn es läßt sich nie die Uebertragung der Wärme durch einen Stab hindurch beobachten, ohne daß nicht ein Verlust an den Seitenwänden stattfände. Dieser Verlust ist eine Folge der Strahlung sowie der Berührung mit der Luft. Diesen Einfluß bildet die äußere Leitungsfähigkeit; sie läßt sich durch die Wärmemenge messen, welche die Einheit der Fläche an die Luft in der Einheit der Zeit abgeben würde, wenn man die Differenz zwischen der Temperatur des Körpers und der Temperatur der Luft der Einheit gleich annimmt.

174. Fortpflanzung der Wärme in einem Stabe. Um die Fortpflanzung der Wärme in einem Stabe mit Berücksichtigung der beiden Ursachen zu studiren, nehmen wir in dem Stabe drei auf einander liegende Schichten an; die erste derselben, welche der Wärmequelle am Nächsten liegt, giebt an die zweite Schicht Wärme ab und trägt die Wärme auf die dritte Schicht über. Zu gleicher Zeit verliert sie aber durch die äußere Leitungsfähigkeit und die Temperaturen werden in dem Stabe erst dann stationär werden, wenn die von jeder Schicht aufgenommene Wärmemenge gleich ist der Quantität, die sie an die Luft und an die benachbarte Schicht abgiebt.

Die aus der vorstehenden Analyse deducirte Formel, welche

das Gesetz der constanten Temperaturen in einem langen von Luft von 0° Temperatur umgebenen Stabe ausdrückt, ist

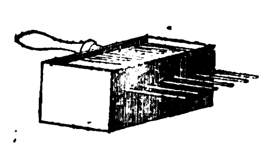
$$t = t_0 e^{-mx};$$

t ist die Temperatur eines in der Entfernung x von der Wärmequelle befindlichen Theiles, t_0 die Temperatur der Wärmequelle, e die Grundzahl der Neper'schen Logarithmen, m eine Constante, die mit den Dimensionen der innern Leitungsfähigkeit H durch die Gleichung $m^2 = \frac{pH}{sK}$ verbunden ist; s der Flächeninhalt und p der Umfang des graden Durchschnitts des Stabes.

Diese Formel drückt aus, daß die Werthe von x in arithmetischer Progression zunehmen, die Werthe von t in geometrischer Progression abnehmen.

175. Bestimmung des Wärmeleitungscoefficienten. Die Bestimmung des Verhältnisses $\frac{H}{k}$ läßt sich vermittelst des Apparates von Ingenhouss (Fig. 98) ausführen.

Fig. 98.



Dieser Apparat besteht aus einem Kasten von Blech, in dessen eine Seitenwand Stäbchen von den zu vergleichenden Substanzen eingesteckt werden; diese Stäbchen sind sämmtlich von gleichem Durchmesser und werden mit einer Schicht von Wachs oder Wallrath überzogen. In den Kasten wird heißes Wasser gebracht. Die Wärme des Wassers pflanzt sich in den Stäbchen nach dem im vorigen § angeführten Gesetze fort und die Stäbchen haben nach Verlauf einer gewissen Zeit eine constante Temperatur angenommen, welche, bei gleicher Entfernung von der Wand des Kastens, von der Beziehung der Wärmeleitungscoefficienten abhängen.

Wenn man mit Hülfe der in dem vorigen § angegebenen Formel die Punkte zweier der Stäbchen aufsucht, welche dieselbe Temperatur haben, so findet man, daß die Quadrate ihrer Entfernungen von der Wand unter sich in folgender Beziehung stehen:

$$\frac{H}{K} : \frac{H'}{K'}$$

Indem nun durch die Wärme der Ueberzug auf den Stäbchen schmilzt, giebt die Grenze, bei welcher die Schmelzung auf jedem Stäbchen aufhört, die isothermen Punkte und die Schicht an, welche die constante Schmelzwärme besitzt.

Bestehen die Stäbchen aus derselben Substanz, sind sie aber von verschiedenem Durchmesser, so sind die Entfernungen der Schichten von gleicher Temperatur von der heißen Kastenwand proportional den Quadratwurzeln aus den Strahlen der Stäbchen.

Aus der Gleichung des vorigen § erhält man für $t = t'$, $mx = m'x'$ und $m^2 : m'^2 : = x'^2 : x^2$.

Ersetzt man m^2 und m'^2 durch ihre Werthe (Siehe den vorigen §), unterdrückt man den den Gliedern des ersten Verhältnisses gemeinsamen Factor $\frac{H}{K}$, und drückt man p und s in der Function des Strahles aus, so hat man:

$$\frac{1}{R} : \frac{1}{R'} = x'^2 : x^2 \text{ woraus } x' : x = \sqrt{R'} : \sqrt{R}.$$

176. Sogenannte kalte Körper. Die an der Wärmequelle von den verschiedenen Stäbchen aufgenommenen Wärmemengen sind von der specifischen Wärme und von ihrem Leitungsvermögen abhängig.

Diese Wärmemengen werden bei übrigens gleichen Bedingungen um so größer sein, je größer ihre innere Leitungsfähigkeit ist. Die Substanzen, in denen die Wärme sich leichter fortpflanzt, werden daher der Wärmequelle mehr Wärme entziehen als andere.

Die Erscheinung hierbei ist unabhängig von der Temperatur der Quelle.

Deshalb begreift man, warum, wenn man die Hand oder einen anderen Theil der Oberfläche des Körpers mit verschiedenen Substanzen von ungleicher Leitungsfähigkeit und gleichförmiger niederer Temperatur als die gewöhnliche Temperatur des menschlichen Körpers zusammenbringt, ein verschiedenes Gefühl von Kälte wahrgenommen wird. Diejenigen Körper, welche die Wärme besser leiten als andere, so z. B. die Metalle, der Marmor u. s. w. nehmen mehr Wärme auf als andere Körper und erscheinen deshalb kalt.

Wenn die Körper dagegen höhere Temperatur besitzen als das Blut, so scheinen die besten Wärmeleiter die wärmeren Körper zu sein.

177. Fortpflanzung der Wärme in Flüssigkeiten. Die Verbreitung der Wärme in Flüssigkeiten geschieht durch fortschreitende Strahlung, so lange die Wärme nicht darin Molekularveränderungen hervorruft. Die Bewegung der Wärme ist alsdann eben so wie bei den festen Körpern regelmäßigen Gesetzen unterworfen. In einer

an dem oberen Theile erhitzten Flüssigkeit, welche in einem wenig leitenden Gefäße, wie z. B. in einem hölzernen Gefäße enthalten ist, folgen die Temperaturen genau demselben Gesetze, wie es bei festen Körpern der Fall ist. Die Leitungsfähigkeit ist aber bei den Flüssigkeiten sehr gering.

Man kann sich von der Richtigkeit des eben Gesagten überzeugen, wenn man eine mit Wasser angefüllte Röhre an dem oberen Theile erhitzt; die oberen Schichten werden in's Sieden gerathen, ohne daß die Temperatur der unteren Schichten sich merklich ändert.

Sobald aber die Flüssigkeit an dem untern Theile erhitzt wird, bewirkt die Ungleichmäßigkeit des Erhitzens an verschiedenen Punkten Dichtigkeitsunterschiede, in deren Folge in dem Inneren der Flüssigkeit eine Molekularbewegung stattfindet. Diese Bewegungen lassen sich sichtbar machen, wenn man fein zertheilte Körper, deren Dichte von der des Wassers viel verschieden ist, wie z. B. Sägespäne, Bernsteinpulver in Wasser bringt, das sich in einem Glasgefäße befindet; wird nun letzteres von Unten langsam erhitzt, so bemerkt man eine Strömung, welche in der Mitte aufwärts und an den Wänden des Glasgefäßes abwärts geht.

178. Fortpflanzung der Wärme in Gasen. Bei den Gasen ist die Molekularstrahlung von noch schwächerem Einfluß auf die Ausgleichung der Temperaturen. Die Wärme verursacht an den Punkten, wo sie wirkt, Ungleichmäßigkeiten in der Dichte und in der Spannkraft, daraus entstehen eben so wie bei den Flüssigkeiten unregelmäßige Bewegungen, welche zuletzt Gleichförmigkeit der Temperatur in der Masse herbeiführen.

In dem Abkühlungs- und Erwärmungsvermögen der verschiedenen Gase finden große Unterschiede statt, welche hauptsächlich der größern oder geringern Beweglichkeit der Moleküle zugeschrieben werden müssen. So erwärmt und abkühlt das Wasserstoffgas schneller die Körper als die atmosphärische Luft und die Kohlensäure.

179. Conservation der Wärme. Um das Abkühlen eines Körpers möglichst zu verzögern, bringt man denselben in einen Raum, der mit mehreren von einander getrennten Schichten umgeben ist, zwischen denen sich atmosphärische Luft befindet, die nur außerordentlich langsam erwärmt und abgekühlt werden kann, wenn man den Wechsel der Luft in diesen Schichten verhindert. Auf diese Weise erklärt sich der Nutzen der Doppelfenster, der Doppelthüren. Aus

demselben Grunde gelingt es, das Abkühlen eines Körpers zu verzögern, wenn man ihn mit organischen Stoffen, welche stets Gase enthalten, umgiebt oder ihn in leinene oder wollene Zeuge einhüllt. Wichtige Anwendungen von der schlechten Leitungsfähigkeit der Gase macht man unter Anderen auch zuweilen bei der Construction der Oefen, bei welchen man eine Lage von gepulverten Kohlen zwischen die Ziegel bringt; die Kohlen enthalten bekanntlich sehr bedeutende Mengen von Luft in ihren Poren condensirt. In den sogenannten feuerfesten Geldschränken befindet sich zwischen den Wänden Asche, also ebenfalls ein sehr poröser, viel Luft enthaltender Körper.

Fünfzehntes Kapitel.

Von der specifischen Wärme.

180. Specifische Wärme. Unter der specifischen Wärme einer Substanz versteht man die Wärmemenge, welche ein Körper von der Masse 1 braucht, damit seine Temperatur um 1° C. steige.

Der Begriff der specifischen Wärme wird aus folgendem Versuche erhellen.

Wenn man gleiche Gewichtstheile Quecksilber und Wasser mit einander mengt, so daß das Quecksilber eine Temperatur von 100°, das Wasser eine Temperatur von 0° hat, so findet man, daß die Temperatur des Gemenges nicht höher als 3° ist.

Derselbe Versuch, mit zwei gleichen Gewichtstheilen Quecksilber angestellt, von welchen der eine 100°, der andere 0° Temperatur hat, giebt unveränderlich in dem Gemenge eine Temperatur von 50°, wobei man natürlich von dem Wärmeverlust abzusehen hat.

Daraus schließt man, daß dieselbe Wärmemenge, welche in einer Quecksilbermasse eine Veränderung der Temperatur von 50° hervorbringt, die Temperatur einer gleichen Wassermasse nur um 2° erhöht.

Das Verfahren, welches uns dieses Factum festzustellen lehrt, kann auch zur Vergleichung der specifischen Wärmen angewendet werden.

181. Wärmemenge, Ausdruck derselben. Als Einheit der Wärme nimmt man die specifische Wärme des Wassers; es wird angenommen, daß die Wärmemengen proportional den durch sie

hervorgebrachten thermometrischen Variationen, proportional ferner den Massen und den Gewichten dieser Substanzen sind.

Wenn demnach ein Massenkörper M eine Temperaturveränderung erleidet, so wird er eine Wärmemenge verlieren oder aufnehmen, die durch MQt ausgedrückt wird; Q bedeutet die Wärmemenge, welche von der Einheit der Masse aufgenommen oder abgegeben worden ist.

Wenn zwei Körper so gestellt sind, daß der eine die Wärmemenge aufnimmt, welche der andere verliert, und sich seine Temperatur um t Grad, d. h. um so viel steigert, als sich die des andern verringert, so kann die Gleichung des Wärmeaustausches zwischen diesen beiden Körpern auf folgende Weise ausgedrückt werden:

$$MQt = M'Q't' \text{ woraus } \frac{Q}{Q'} = \frac{M't'}{Mt}.$$

Die Bestimmung des Verhältnisses $\frac{Q}{Q'}$, oder der relativen specifischen Wärme einer Substanz wird demnach auf die Bestimmung des Gewichtes von Substanzen reducirt, welche ihre Wärmemengen und ihre Temperaturvariationen austauschen.

Die Gewichte werden vermittelst der Wage bestimmt.

Das Object der Methoden, die in dem Folgenden beschrieben werden, ist die Bestimmung der Werthe t und t'.

182. Mischungsmethode. Diese besonders von Regnault benutzte Methode besteht darin, die zu untersuchende Substanz in einen Korb von Metalldraht C (Fig. 99) zu bringen. Dieser Korb

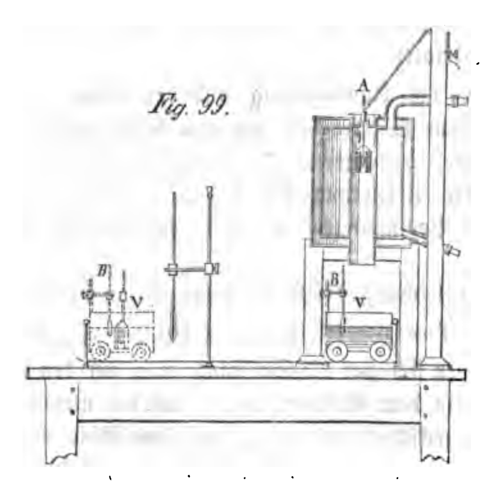


Fig. 99.

ist an Seidenfäden in einem durch Wasserdampf erwärmten Raume aufgehängt. Ein sehr genaues Thermometer A, das durch den Deckel des erwärmten Raumes geht und bis in die Mitte des Korbes reicht, dient zur Angabe der Temperatur des in dem Korb enthaltenen Körpers. Wenn diese Temperatur, die sich anfangs schnell erhöht, stationär wird, so öffnet man den mit Dampf angefüllten Raum an seinem unteren Theile und läßt den Korb schnell in ein Metallgefäß mit dünnen Wänden V herab, in welchem sich ein bekanntes Gewicht reinen Wassers befindet. Ein genaues Thermometer B taucht in dieses Calorimeter. Man liest die Temperatur vor dem Eintauchen des Korbes ab und sodann von 10 zu 10 Minuten, vom Augenblicke des Eintauchens des Korbes an gerechnet, bis zu dem Momente, in welchem das Thermometer stationär bleibt.

Ehe der in dem Korbe befindliche Körper in das Calorimeter gelangt, ist seine Temperatur im Augenblicke des Eintauchens ziemlich dieselbe wie die des im obern Dampfraume befindlichen Thermometers.

T sei diese Temperatur und Θ die durch das Thermometer des Calorimeters angezeigte Endtemperatur, so wird die an das Calorimeter abgegebene Wärmemenge ausgedrückt durch

$$(MQ + mq)(T - \Theta)$$

MQ bezieht sich auf die Substanz, mq auf den Korb.

Diese Wärmemenge theilt sich in die verschiedenen Theile des Calorimeter, in das Wasser, die Wände des Gefäßes und das Thermometer; außerdem geht ein Theil durch Leitung und durch Ausstrahlung verloren.

Die durch die Ausstrahlung und den Contact mit der Luft verloren gegangene Wärme läßt sich annähernd mit Hülfe einer Interpolationsformel bestimmen, die durch eine Reihe von Beobachtungen über die Abkühlung des mit Wasser angefüllten Gefäßes unter denselben Bedingungen wie bei dem Versuche ermittelt worden ist.

Folgende Gleichung drückt die angegebene Vertheilung aus:

[A] $(MQ + mq)(T - \Theta) = (M_1 Q_1 + m_1 q_1 + \mu\,\gamma + \mu_1 \gamma_1)(\Theta - t) + RQ_1.$

M, Q beziehen sich auf die Substanz, m, q auf den Korb; M_1, Q_1 auf das Wasser in dem Gefäße; m_1, q_1 auf die metallenen Wände; μ, γ auf das Quecksilber und μ_1, γ_1 auf das Glas des Thermometers; Θ ist die Endtemperatur des Gemenges, t die ursprüngliche

Temperatur des Wassers, T die der Substanz; RQ_1 drückt die durch äußere Leitung verlorne Wärmemenge aus.

Wenn man die Substanz nach und nach durch das Metall, aus welchem der Korb besteht, durch das, aus welchem das untere Gefäß besteht, durch Glas, durch Quecksilber ersetzt, so hat man vier neue Gleichungen, welche der vorstehenden ähnlich sind; aus denselben lassen sich die Werthe von q, q_1, γ, γ_1 von Q_1 ausgehend, das als Einheit genommen wird, berechnen.

Die Wassermengen, welche den constanten Theilen des Apparates äquivalent sind, lassen sich leicht ermitteln und wenn man dieselben in der Gleichung [A] substituirt, so hat man:

$$(MQ + nQ_1)(T - \Theta) = (M_1 + n_1 + v + v_1) Q_1 (T - \Theta) + RQ_1.$$

Nimmt man $Q_1 = 1$ und drückt man durch N_1 die Summa $n_1 + v + v_1$ aus, so läßt sich die Gleichung auf folgende Weise schreiben:

$$(MC + n)(T - \Theta) = (M_1 + N_1)(T - \Theta) + R;$$

Dies ist die specifische Wärme der Substanz in Vergleich mit der specifischen Wärme des Wassers.

183. Methode des Eisschmelzens. Diese Methode von Lavoisier und Laplace angewendet, stützt sich auf folgendes Factum.

Wenn man ein Kilogramm (= 2 Pfund) Eis von 0° mit einem Kilogramm Wasser von 79,3° zusammenbringt, so erhält man 2 Kilogramm Wasser von 0°; mit andern Worten: die zum Schmelzen von einem Kilogramm Eis erforderliche Wärme kann die Temperatur von einem Kilogramm Wasser um 79, 3° erhöhen.

Das einfachste Calorimeter nach der Methode des Eisschmelzens besteht in einem Stück Eis, in welchem sich eine Höhlung befindet, die durch einen an den Rändern abgeschliffenen Eisdeckel verschlossen werden kann.

Der zu untersuchende Körper wird, nachdem er bis zur Temperatur T erhitzt worden ist, in diese Höhle gebracht. Die Wärme, die er abgiebt, um die Temperatur 0° zu erlangen, bewirkt das Schmelzen von einer gewissen Menge von Eis. Man erfährt das Gewicht dieses Wassers, indem man dasselbe mit einem vorher abgekühlten Stückchen feiner Leinwand auftupft und mit Berücksichtigung des Gewichtes der Leinwand wiegt.

Das Gewicht p dieses Wassers multiplicirt mit 79,3 drückt die Wärmemenge aus, welche von dem Eis abgegeben und von dem Körper aufgenommen worden ist.

Die Gleichung

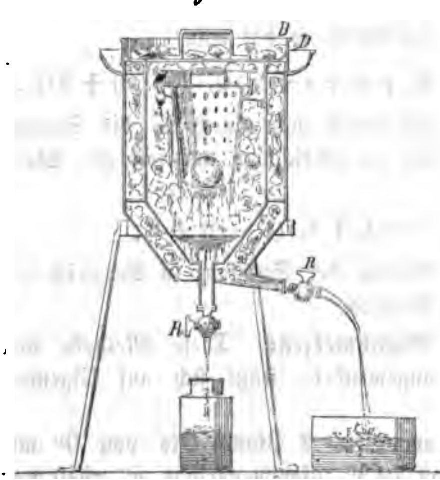
$$MCT = p . 79{,}3$$

giebt die specifische Wärme dieses Körpers.

Der von Lavoisier und Laplace angewandte Apparat ist weit bequemer. Er besteht aus drei concentrischen Hüllen (Fig. 100). Die innere C nimmt den zu untersuchenden Körper auf; sie ist überall mit der Hülle B umgeben in welcher sich Eisstückchen befinden. Das durch das Schmelzen derselben entstandene Wasser fließt durch den Hahn R ab.



Fig. 100.



Das Gewicht dieses Wassers giebt die specifische Wärme der Substanz mit Hülfe der Gleichung (a)

Die dritte Hülle A ist ebenfalls mit gestoßenen Eisstückchen angefüllt. Durch das Schmelzen des Eises in dieser Hülle soll die zweite Hülle vor der äußeren Strahlung geschützt werden. Durch den Hahn R' fließt das in dieser Hülle gebildete Wasser ab.

Der Genauigkeit dieser Methode läßt sich Manches entgegensetzen.

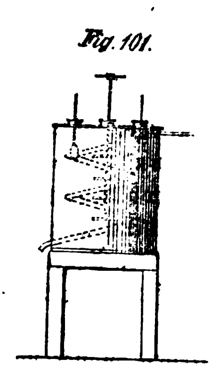
Sie setzt die vorherige Bestimmung der Schmelzwärme des Eises voraus; sie erfordert eine beträchtliche Menge der zu untersuchenden Flüssigkeit; das angewendete Eis enthält stets eine kleine Quantität fertig gebildeten Wassers; ist die Außentemperatur höher als die des schmelzenden Eises, so circuliren Luftströme in dem Apparat und bewirken die Schmelzung einer gewissen Menge Eis; endlich ist die wirkliche Temperatur der Substanz in dem Augenblicke, in welchem das Abkühlen beginnt, nicht ganz genau zu ermitteln.

184. Erkaltungsmethode. Diese Methode, welche von Mayer begründet und von Dulong und Petit angewendet wurde, besteht darin, daß man den zu untersuchenden Körper, nachdem man ihn auf eine bestimmte Temperatur erhoben hat, im luftleeren Raume erkalten läßt. Das Erkalten tritt um so langsamer ein, je größer die Wärmecapacität des zu untersuchenden Körpers ist (je nachdem nämlich ein Körper mehr oder weniger specifische Wärme hat, schreibt man ihm eine größere oder geringere Wärmecapacität zu).

185. Specifische Wärme von Flüssigkeiten. Zur Bestimmung der specifischen Wärme von Flüssigkeiten eignen sich auch die im Vorstehenden beschriebenen Methoden; die Flüssigkeiten werden dabei in Metallhüllen eingeschlossen, deren specifische Wärme vorher bestimmt worden ist.

186. Specifische Wärme von Gasen. Die Bestimmung derselben wird durch Berard und Delaroche ausgeführt, indem man das erwärmte Gas durch ein mit kaltem Wasser umgebenes Schlangenrohr (Fig. 101) leitet. Das Gas giebt einen Theil seiner Wärme an die Wände der Röhre ab. Die von dem Gase abgegebene Wärmemenge ist gleich der von dem Wasser aufgenommenen Wärmemenge plus der, welche durch Strahlung nach Außen verloren gegangen ist. Der Ausdruck dieser Menge führt zur Ermittelung der specifischen Wärme der Gase.

Fig. 101.



In der Bestimmung der Temperatur des Wassers und hauptsächlich der des Gases liegt die Hauptschwierigkeit der Ausführung dieser Methode.

187. Specifische Wärme der Einheit des Volumens. Durch die in vorstehend beschriebenen Methoden erhaltenen Zahlen erfährt man die Wärmemengen, die erforderlich sind, um die Einheit des Gewichtes einer Substanz um 1° C. zu mindern, oder ihre auf das Gewicht bezüglichen specifischen Gewichte. Um daraus die specifischen Gewichte bezüglich des Volumens abzuleiten, braucht nur bemerkt zu werden, daß die Einheit des Volumens eines Körpers Δ Gewichtseinheiten enthält.

Δ ist das specifische Gewicht des Körpers.

Nennt man Cv die specifische Wärme bezüglich des Volumens,

Cp die specifische Wärme bezüglich des Gewichts, so hat man C = Δ . Cp.

188. Beziehung der specifischen Wärme zu den Aequivalentzahlen eines Körpers. Dulong und Petit haben in Bezug auf den Zusammenhang der specifischen Wärme mit den Aequivalentzahlen der Körper dies wichtige Gesetz aufgestellt, das durch Regnaults neuere Versuche vollkommen bestätigt worden ist: Die specifischen Wärmen der Aequivalente der Elemente sind entweder gleich, oder aber sie sind Multipla nach ganzen Zahlen von der kleinsten specifischen Wärme. Obgleich aus den vorliegenden Daten dieses Gesetz nicht mit ganzer Schärfe hervortritt, so kann man doch nicht verkennen, daß es denselben zu Grunde liegt. Die sich ergebenden Abweichungen finden in den großen Schwierigkeiten, mit denen die Bestimmung der specifischen Wärme der Körper verbunden ist, ihre Erklärung.

189. Latente Wärme. Es ist schon Seite 98 angeführt worden, daß die Temperatur eines Körpers während seines Ueberganges in einen anderen Aggregatzustand so lange unverändert bleibt, als dieser Uebergang dauert. Der einzige Effect, der durch die Wärme hervorgebracht wird, ist die Schmelzung oder die Verflüchtigung der Substanz. Die absorbirte Wärme wird durch das Thermometer nicht angezeigt, sie wird latent oder gebunden, sie ist aber keineswegs verloren, denn sie giebt sich durch thermometrische Wirkungen zu erkennen, sobald der Körper seinen frühern Aggregatzustand wieder annimmt. Es läßt sich dies durch folgenden Versuch leicht nachweisen.

Man nimmt etwas reines und von Luft befreites Wasser und erniedrigt die Temperatur desselben immer mehr, vermeidet aber dabei alle Erschütterung. Auf diese Weise läßt sich die Temperatur des Wassers bis auf — 10° oder — 12° erniedrigen, ohne daß das Wasser gefriert. Sowie aber diese flüssige Masse stark erschüttert wird, gefriert ein Theil der Flüssigkeit und die Temperatur steigt schnell auf 0°. Indem dieses Wasser in den festen Zustand überging, hat es mithin eine Wärmemenge entwickelt, welche im Stande war, die Temperatur der ganzen Masse des Wassers um 10—12° zu steigern.

190. Schmelzwärme des Eises. Die latente Wärme der Schmelzung des Eises ist durch die Methode des Mischens bestimmt worden. Diese Bestimmung wird auf folgende Weise ausgeführt.

Das Eis wird in Gestalt von kleinen Stückchen in eine Wassermasse gebracht, die vorher genau gewogen und in einem messingnen Gefäße mit dünnen Wänden enthalten ist. Im Augenblicke des Eintauchens des ersten Stückes Eis notirt man die Angabe des in das Wasser des Calorimeters getauchten Thermometers und schreibt von Minute zu Minute die Thermometerangaben auf, bis alles Eis geschmolzen ist. Das Thermometer giebt die Minimumtemperatur in dem Augenblicke an, in welchem das letzte Stück geschmolzen ist. Aus der Reihe der beobachteten Temperaturen läßt sich der Einfluß der äußeren Strahlung auf das Calorimeter berechnen. Um die Correction möglichst klein zu machen, stellt man zuerst den Versuch bei einer Temperatur an, welche höher ist, als die der umgebenden Körper, und darauf bei einer niedern Temperatur. Wenn man die Ueberschüsse der Temperaturen geeignet wählt, so kann selbst eine Compensation stattfinden.

Die Gleichung:

$$m(L - t') = (M + \mu)(t - t') + R$$

giebt den Werth von L.

m ist das Gewicht des geschmolzenen Eises, M das Gewicht des Wassers im Calorimeter, μ die Wassermasse, welche dem Messing des Gefäßes und dem Thermometer äquivalent ist, t die urspüngliche Temperatur, t' die Endtemperatur des Wassers, R die der Umgebung entzogene Wärme.

Das Mittel der nach dieser Methode erhaltenen Resultate kommt der Zahl 79,3 sehr nahe (die specifische Wärme ist als Einheit angenommen).

Man kann demnach annehmen, daß, wenn kein Wärmeverlust stattfindet, ein Gemenge von 1 Kilogramm Wasser von 79,3° mit einem Kilogramm Eis von 0° zwei Kilogramm Wasser von 0° erzeugen muß.

191. Flüssigkeitwärme der Metalle. Die latente Wärme anderer Substanzen kann man auch durch die Methode des Mischens finden. Gewöhnlich ermittelt man die Wärmemenge, welche aus der Substanz bei ihrem Uebergange aus dem festen Zustande in den flüssigen frei wird. Bei dieser Ermittelung wird die specifische Wärme des Körpers im flüssigen Zustande, seine specifische Wärme im festen Zustande und die Temperatur des Festwerdens als bekannt vorausgesetzt.

Die Gleichung des Wärmeaustausches zwischen der Wassermasse und der Substanz ist:

$$m\{C(T-\Theta)+L+c(\Theta-t')\}=(M+\mu)(t-t')+R.$$

m ist das Gewicht der Substanz, T seine Temperatur im Augenblicke des Entweichens, Θ seine Temperatur des Festwerdens, C und c seine specifischen Wärmen im flüssigen und im festen Zustande, M das Gewicht des Wassers im Calorimeter, μ die Wassermasse, welche den festen Theilen des Apparates äquivalent ist, t und t' die anfängliche und endliche Temperatur der Wassermasse, R die durch Strahlung verlorne oder aufgenommene Wärmemenge.

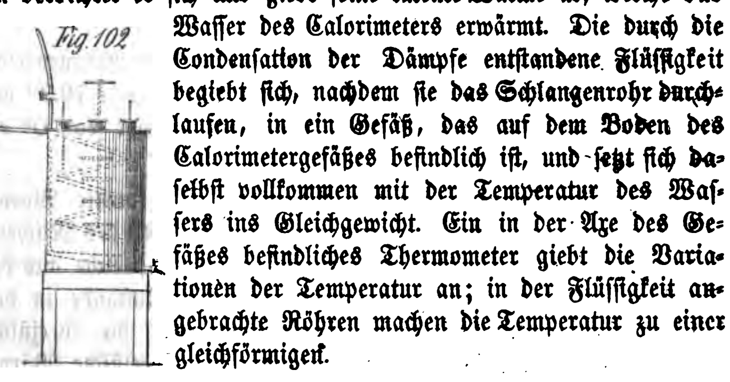
Person bestimmte auf diese Weise die latente Wärme folgender Körper:

Zinn	14,252	Phosphor	5,634
Wismuth	12,639	Schwefel	9,350
Blei	5,369	Salpeters. Natr.	62,975
Zink	28,390	Salpeters. Kali	47,371

Die specifische Wärme des Wassers ist als Einheit angenommen worden.

192. Verdampfungswärme. Die latente Verdampfungswärme kann ebenfalls nach der Methode des Mischens bestimmt werden.

Der aus einer siedenden Flüssigkeit entwickelte Dampf geht in ein mit kaltem Wasser umgebenes Schlangenrohr (Fig. 102); darin verdichtet er sich und giebt seine latente Wärme ab, welche das



Wasser des Calorimeters erwärmt. Die durch die Condensation der Dämpfe entstandene Flüssigkeit begiebt sich, nachdem sie das Schlangenrohr durchlaufen, in ein Gefäß, das auf dem Boden des Calorimetergefäßes befindlich ist, und setzt sich daselbst vollkommen mit der Temperatur des Wassers ins Gleichgewicht. Ein in der Axe des Gefäßes befindliches Thermometer giebt die Variationen der Temperatur an; in der Flüssigkeit angebrachte Röhren machen die Temperatur zu einer gleichförmigen.

Um den Verlust an Wärme durch Strahlung nicht berücksichtigen zu müssen, fängt man den Versuch bei einer Temperatur an,

welche t — a niedriger als die Temperatur t des umgebenden Mittels ist; man beendigt ihn bei der Temperatur t + a.

Die Gleichung:

$$mL + mc(T + t) = (M + \mu) 2a$$

giebt L.

m ist die Masse des condensirten Dampfes, L seine latente Wärme, T seine Temperatur im Augenblicke der Condensation, c die specifische Wärme der entstandenen Flüssigkeit, M die Wassermasse des Calorimeters, μ die Wassermasse, welche den Wänden des Calorimeters und des Thermometers gleich ist.

Auf diese Weise hat man für die latente Wärme des Wasserdampfes bis 100° die Zahl 536 gefunden.

193. Erzeugung von Kälte. Eine Wärmebindung findet auch statt, wenn ein fester Körper durch Auflösen in einer Flüssigkeit in den flüssigen Zustand übergeht. Hierauf beruhen die sogenannten Kältemischungen oder Frostgemische. Es folgen nun einige Angaben über zweckmäßige Kältemischungen und über die dabei eintretende Temperaturerniedrigung:

Mischung.	Sinken des Thermometers
1 Th. salpetersaur. Ammoniak u. 1 Th. Wasser	von + 10° bis — 15,5°
5 Th. Salmiak, 5 Th. Salpeter, 16 Th. Wasser	von + 10° bis — 12,2°
1 Th. Rhodankalium u. 1 Th. Wasser	von + 18° bis — 21°
8 Th. Glaubersalz u. 5 Th. Salzsäure	von + 10° bis — 17°
59 Th. Zinn, 103,5 Th. Blei, 183 Th. Wismuth zusammengeschmolzen u. gepulvert, u. 808 Th. Quecksilber	von + 17,5 bis — 10°

Salze, die sich sehr leicht in Wasser lösen, geben, wenn sie vorher schon unter 1° abgekühlt worden sind, mit Eis eine flüssige Mischung. Ein bis — 9° abgekühltes Gemisch von 1 Th. Chlorcalium mit 2 Th. Schnee erkältet sich bis — 42°.

Die Wärmebindung, welche stattfindet, wenn flüssige Körper in Gasform übergehen, wird häufig benutzt, um außerordentlich niedrige Temperaturen hervorzubringen. Die schnelle Verdunstung von Wasser an der Luft bewirkt bedeutende Temperaturerniedrigung.

In Thibet und China erzeugt man bekanntlich Eis dadurch, daß man Wasser in mit Thon ausgefütterten Erdvertiefungen an luftigen freigelegenen Orten in hellen windigen Nächten mit Stroh dünn bedeckt. Durch die Verdampfung und Ausstrahlung

wird so viel Wärme entzogen, daß sich auf dem Wasser eine Eisrinde bilden.

Die Wirkung der Alkarrazzas, unglasirter thönerner Gefäße, deren man sich in Spanien, Aegypten u. s. w. bedient, um Trinkwasser abzukühlen, erklärt sich ebenfalls durch die durch das Verdampfen des Wassers erzeugte Verdunstungskälte. Auf dasselbe Princip basirt sich der bekannte Versuch, Wasser durch seine eigene Verdunstung unter der Luftpumpe, ferner Quecksilber in einem glühenden Platintiegel, in dem sich ein Gemisch von Aether und fester Kohlensäure befindet, zum Gefrieren zu bringen.

Sechszehntes Kapitel.

Von den Dämpfen.

194. Veränderung des Aggregatzustandes. — 195. Verdampfung; Dämpfe. — 196. Spannkraft der Dämpfe. — 197. Gesetz der Verdampfung. — 198. Gesetz der Spannkraft. — 199. Sieden. — 200. Thermometrische Correction. — 201. Dämpfe aus Salzlösungen. — 202. Zerfließen; Effloresciren. — 203. Verdampfen in Gasen. — 204. Anwendung des Dampfes als bewegende Kraft. Aeolipile. — 205. Dampfmaschinen. — 206. Atmosphärische Maschinen. — 207. Watts Condensator. — 208. Doppelwirkende Maschinen. — 209. Wirkungsweise des Dampfes. — 210. Hochdruckmaschine. — 211. Beschreibung der einfachen und doppeltwirkenden Maschinen.

195. Veränderung des Aggregatzustandes. Der Aggregatzustand der Körper ist von der Temperatur abhängig. Ein bei gewissen Temperaturen fester Körper wird bei höheren Temperaturen flüssig, und wenn sich die Temperatur noch mehr steigert, so geht der flüssige Körper auch in den gasförmigen Zustand über. Wenn man umgekehrt die Temperatur erniedrigt, so kehrt der Körper aus dem gasförmigen Zustande in den flüssigen, endlich in den festen Zustand zurück.

Diese Veränderungen gehen bei gewissen Substanzen innerhalb enger Grenzen der Thermometerskala vor sich; bei anderen sind die Temperaturen der Veränderungen des Aggregatzustandes durch große Zwischenräume von einander entfernt. Alle Beobachtungen deuten darauf hin, daß die Schwierigkeit, gewisse Körper in andere Aggregatzustände überzuführen, in der Unzulänglichkeit unserer Hülfsmittel, aber auch darin seinen Grund hat, daß einzelne dieser Körper sich chemisch zersetzen, ehe sie in einen andern Aggregatzustand übergehen.

Die Temperatur der Veränderung des Aggregatzustandes ist von der Materie der Körper abhängig. Das Schmelzen des Körpers geht bei einer bestimmten Temperatur vor sich, welche im All-

gemeinen dieselbe ist, bei welcher der geschmolzene Körper erstarrt. Es finden jedoch einige Ausnahmen statt. Gay-Lussac fand, daß reines Wasser, das in einer Kältemischung befindlich war, seine Temperatur bis zu — 12° erniedrigte, und erst dann fest wurde, als durch Erschütterung die Trägheit der Moleküle überwunden worden war. Es ist ferner beobachtet worden, daß Wasser in Capillarröhrchen bis auf — 15—20° abgekühlt wurde, ohne daß es gefror. In diesem Falle wird die Trägheit der Moleküle durch die Adhäsion der Flüssigkeit zum Glas begünstigt.

195. Verdampfung; Dämpfe. Dampf ist die allgemeine Benennung derjenigen Körper, welche durch die Wirkung der Wärme den ausdehnsamen Zustand angenommen haben. Wir beschäftigen uns nun mit den Eigenschaften der Dämpfe, namentlich mit denen des Wasserdampfes.

Wenn man in die Toricellische Leere eines Barometers eine gewisse Menge flüssiges oder festes Wasser bringt, so findet eine Depression der Barometersäule statt, die größer ist, als die Depression, welche dem Druck des hineingebrachten Wassers entspricht; es hat sich eine elastische Flüssigkeit gebildet, deren Spannkraft je nach der Temperatur verschieden ist.

Fig. 103

196. Spannkraft der Dämpfe. Unter der Spannkraft oder Tension versteht man die Kraft, mit welcher sich der Dampf auszudehnen strebt und mit welcher er gegen die Wände des ihn einschließenden Gefäßes einen Druck ausübt. Will man nun die Spannkraft z. B. des Wasserdampfes messen, so bringt man das erwähnte Barometer neben ein gewöhnliches Barometer in ein Gefäß mit heißem Wasser (Fig. 103); die Differenz in den Höhen der beiden Quecksilbersäulen giebt uns die Spannkraft des Dampfes an.

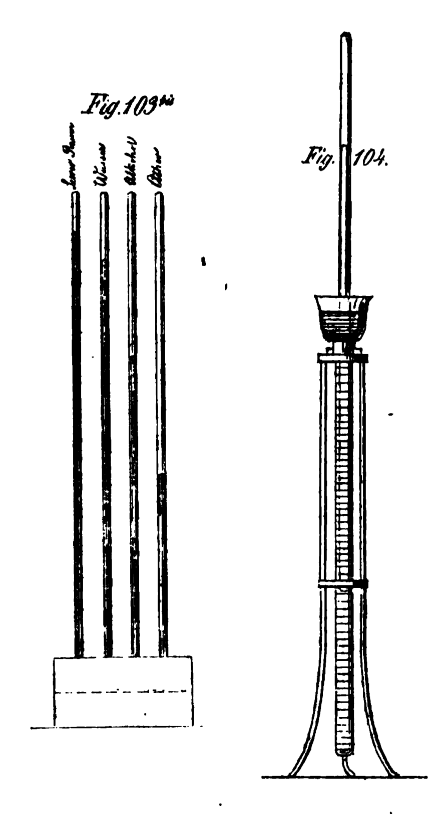
Bei dem Versuche von Dalton bringt man die beiden Barometer mit ihren offenen Enden in ein Gefäß mit Quecksilber, in dem einen der Barometer befindet sich oberhalb des Quecksilbers etwas Wasser. Die beiden Barometer werden nun mittelst eines Stabes aus Eisen, an welchem sie befestigt sind, in einen mit Wasser gefüllten Glascylinder getaucht. Die Temperatur des Wassers, welche zugleich die

des Barometers und die des Wasserdampfes in der andern Röhre ist, wird durch ein Thermometer bestimmt. Die Differenz im Niveau der beiden Barometer giebt uns nun die Spannkraft des Dampfes bei der Temperatur, die das Wasser hat. Noch deutlicher tritt die Differenz der Niveaus hervor, wenn man über das Quecksilber eines Barometers Wasser, über das eines andern Alkohol und über das eines dritten Aether bringt (Fig. 103 bis).

Die Spannkraft des Dampfes für die Höhe einer auf ^{0} reducirter Quecksilbersäule wird durch folgende Formel gegeben:

$$\left(h - e\frac{\delta}{\Delta}\right)\frac{5550}{5550+t}$$

h ist die Differenz des Niveaus der beiden Barometer vermittelst des Kathetometers (siehe S. 6) gemessen, e die Höhe der Flüssigkeitsschicht im Augenblicke der Beobachtung, δ und Δ die Dichten der Flüssigkeit und des Quecksilbers bei der Temperatur t.


Fig. 103 bis. Fig. 104.

197. Gesetz der Verdampfung. Wenn man eine Flüssigkeit von der Temperatur t einem Druck aussetzt, der stärker ist als der Druck, welcher durch die Tension des Dampfes ausgeübt wird, so bemerkt man sogleich das vollständige Verschwinden des Dampfes. Dieser Versuch läßt sich leicht ausführen, wenn man sich eines Gefäßbarometers (vergl. S. 173) bedient. Indem man die Flüssigkeit in die Toricellische Leere bringt (Fig. 104) und die Barometerhöhe niederdrückt oder emporhebt, wodurch der auf die Flüssigkeit ausgeübte Druck vergrößert oder ver-

mindert wird, kann man die Dämpfe in dem leeren Raum verschwinden und erscheinen machen.

Wenn man die Röhre emporhebt, findet man ferner, daß das Volumen des Dampfes fortwährend zunimmt, ohne daß der Dampf dabei seine Spannkraft veränderte, daß folglich die Masse des entwickelten Dampfes proportional dem Volumen zunimmt. Auf diese Weise kann man leicht eine Flüssigkeit in Dampf verwandeln und umgekehrt.

198. Gesetz der Spannkraft. Wenn man in das nämliche Gefäßbarometer eine kleine Quantität von der Flüssigkeit isolirten Dampfes bringt, so bemerkt man beim Emporheben der Röhre, daß das Volumen des Dampfes beständig zunimmt; zugleich vermindert sich aber auch die Spannung und der Dampf folgt den Gesetzen des Volumens der Gase (s. S. 67).

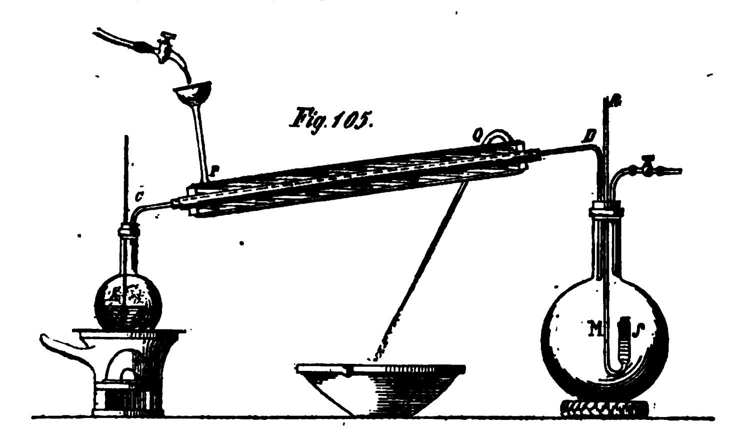
Drückt man die Röhre herab, so vermindert sich das Volumen und die Spannkraft des Dampfes nimmt zu, bis ein Theil des Dampfes flüssig geworden ist. Von diesem Augenblicke an bleibt die Quecksilbersäule im Barometer, wenn man auch das Barometer weiter herabdrückt, unverändert, und das Volumen und die Masse des Dampfes nehmen ab, bis endlich aller Dampf verschwunden ist. Der Dampf in Contact mit der Flüssigkeit, aus welcher er sich gebildet hat, heißt Dampf im Maximum der Spannkraft, der von diesem Dampfe eingenommene Raum wird gesättigt genannt.

Die Spannkraft von Dampf, der mit der Flüssigkeit in Contact ist, wächst oder vermindert sich schnell und unabhängig von dem Volumen, wenn die Temperatur steigt oder fällt. Nicht dasselbe geschieht, wenn die Dämpfe von der Flüssigkeit getrennt sind. Im letzteren Falle hängen die Variationen der Spannkraft des Dampfes von dem Volumen ab und verhalten sich wie Gase, so lange die Temperatur sich steigert. Wenn die Temperatur sinkt, so gilt dieses Gesetz nur für einen gewissen Abschnitt der Thermometerskala, bei einer gewissen Temperatur condensirt sich der Dampf und die vorher erwähnten Gesetze kommen wieder zum Vorschein.

199. Sieden. Mit dem Namen Sieden belegt man die stürmische Entwicklung von Dampfblasen, welche von denjenigen Punkten der Flüssigkeit ausgehen, die der Wärme zunächst ausgesetzt sind und eine höhere Temperatur haben als die übrige Flüssigkeit. Die Temperatur, bei welcher eine Flüssigkeit siedet, ist von dem auf ihr lastenden Drucke abhängig; sie ist um so niedriger, je

schwächer der Druck ist, und bleibt für den nämlichen Druck während der ganzen Dauer des Siedens constant.

Der von Dulong construirte Apparat, um den Einfluß des Druckes auf die Entwickelung von Dampfblasen kennen zu lernen, besteht aus einem Ballon A (Fig. 105), welcher mit der Flüssigkeit angefüllt ist; durch ein gebogenes Rohr CD communicirt der Ballon



mit einer künstlichen Atmosphäre M, deren Druck durch ein Barometer oder Manometer RS angegeben wird. Das Rohr CD ist mit einer Hülle PQ umgeben, durch welche während der Dauer des Versuches fortwährend kaltes Wasser strömt, damit in dem Ballon M Temperatur und Druck so ziemlich unverändert bleiben.

Mit Hülfe von Thermometern, die in der Flüssigkeit und im Dampfe sich befinden, findet man, daß die Siedetemperatur einer Flüssigkeit für den nämlichen Druck constant ist, daß sie mit dem Druck und in derselben Richtung sich verändert.

Vergleicht man ferner die bei diesem Versuche erhaltenen Resultate mit denen, die mit Daltons Apparat erhalten worden sind, so findet man, daß die Spannkraft des Dampfes, der aus einer Flüssigkeit bei der Siedehitze entweicht, gleich ist dem Druck der Atmosphäre, die sich über der Flüssigkeit befindet.

Die tiefer liegenden Schichten einer an dem unteren Theile erwärmten Flüssigkeit bedürfen demnach zu ihrer Verflüchtigung einer höheren Temperatur als die oberen Schichten, da sie einen größeren Druck zu ertragen haben.

Messen der Spannkraft. Formel. Der so eben beschriebene Apparat ist mit einigen Abänderungen zur Bestimmung sehr hoher Spannkraft benutzt worden; die erhaltenen Resultate können ziemlich genau durch folgende empirische Formel ausgedrückt werden:

$$\log y = a + b\,\alpha^t + c\beta^t.$$

Es ist gefunden worden

$$\log \alpha = 0{,}006865036$$
$$\log \beta = 1.\ 9967249$$
$$\log b = 2.\ 1340339$$
$$\log c = 0,\ 6116485$$
$$a = 4,\ 7384380$$

t wird in Centigraden, y in Millimeter Quecksilber ausgedrückt.

200. Thermometische Correction. Aus der vorstehenden Formel geht hervor, daß eine Veränderung von 1° in der Nähe von 100° eine Veränderung von 26,7 Millimetern nach sich zieht. Folglich wird eine Variation von 26,7 Millimetern des Barometers eine Variation von 1° in der Temperatur des Siedepunktes herbeiführen. Man muß demnach, wenn die Kraft des siedenden Wassers eines Thermometers bestimmt werden soll, genau das Barometer beobachten, und wenn der Druck nicht genau 760 Millimeter beträgt, wenn er z. B. 760 + h ist, so wird man denjenigen Punkt, bei welchem das Quecksilber des Thermometers stationär bleibt, nicht mit 100°, sondern mit $\left(100 \pm \frac{h}{26{,}7}\right)^0$ bezeichnen.

Die Correction $\frac{h}{26{,}7}$ wird nach folgender Proportion berechnet:

$$x^0 : 1 = h : 26{,}7.$$

201. Dämpfe aus Salzlösungen. Der aus einer Salzlösung entweichende Wasserdampf hat nicht dieselbe Spannkraft, wie der aus reinem Wasser bei derselben Temperatur entweichende. Die Spannkraft ist abhängig von der Natur der Salzsubstanz und ihrer Affinität zum Wasser; sie ist bei übrigens gleichen Umständen um so geringer, je concentrirter die Salzlösung ist.

Relative Sättigung. Wenn der Raum, in welchen der Dampf aus der Salzlösung strömt, mit einem Raum in Verbindung steht, welcher Wasserdämpfe enthält, so sind, je nachdem die Spannkraft dieses Dampfes schwächer oder stärker als die der Lösung ist, zwei Fälle möglich. In dem ersten Falle, giebt die Salzlösung Dämpfe aus, bis der Totalraum gesättigt ist; im zweiten Falle da-

gegen condensirt sich ein Theil des Dampfes, bis die Spannkraft des Dampfes in dem Gesammtraum gleichmäßig und dem sich entwickelnden Dampfe gleich ist. Der mit der Salzlösung in Verbindung gesetzte Raum verliert von seiner Feuchtigkeit und zwar eine um so größere Menge derselben, je geringer die Spannkraft des Dampfes der Lösung ist.

Daraus erklärt sich das Trocknungsvermögen von Salzsubstanzen wie des Chlorcalciums und der concentrirten Schwefelsäure.

Wenn diese Substanzen jedoch schon eine gewisse Menge Wasser enthalten, so ist ihre austrocknende Wirkung nur relativ; sie können sogar Wasser in Form von Dampf abgeben.

202. Zerfließen. Effloresciren. Gewisse Substanzen haben die Eigenschaft, Feuchtigkeit zu absorbiren und zu zerfließen; ein solcher Körper ist z. B. die Potasche. Ein deliquescirender oder zerfließlicher Körper kann jedoch unter gewissen Umständen auch trocken werden, seine Feuchtigkeit verlieren und effloresciren. Die Grenze des Zerfließens ist in jedem Falle durch die Spannkraft des Dampfes bestimmt, der aus der concentrirtesten Lösung dieses Körpers entweicht.

Ist diese Spannkraft geringer als die Spannkraft des Dampfes, in welchem man den Körper bringt, so wird Absorption von Feuchtigkeit stattfinden und der zerfließliche Körper zerfließen; ist diese Spannkraft aber stärker, so bleibt der Körper trocken oder kann effloresciren, wenn er nicht wasserfrei ist. Die Gegenwart der Luft bewirkt keine Veränderung dieser Erscheinungen, denn die Eigenschaften der Dämpfe sind dieselben in der Luft wie im leeren Raum.

203. Verdampfen in Gasen. Die Verdampfung einer Flüssigkeit findet in Gasen auf dieselbe Weise wie im leeren Raume statt, nur geht sie in Gasen langsamer vor sich, und die elastische Kraft des Dampfes daselbst ist noch durch die Temperatur unabhängig vom Volumen bestimmt und durch dieselbe Formel wie im leeren Raume (Seite 154) gegeben. Es geht dies aus den Versuchen von Gay-Lussac und Regnault, auf die wir hier nicht näher eingehen können, deutlich hervor.

Aus diesen Versuchen folgt, daß ein Gas in Contact mit einer Flüssigkeit sich wie ein trocknes Gas bei dem Drucke $H - F(t)$ verhält. $F(t)$ ist die Spannkraft des Dampfes bei der Temperatur t.

Wenn der Druck H' wird und die Temperatur constant bleibt,

so deducirt sich das Volumen des Gases aus dem Mariotte'schen Gesetz nach der Proportion:

$$V' : V = H - F(t) : H' - F(t).$$

Wenn die Temperatur in derselben Zeit als der Druck variirt und der Dampf in Contact mit seiner Flüssigkeit bleibt, so hat man:

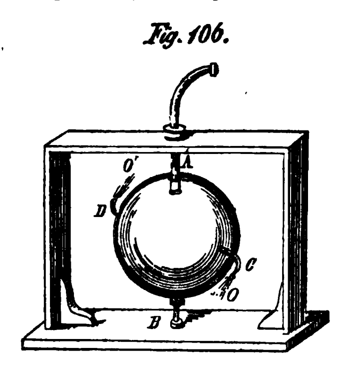
$$\frac{V(H - F(t))}{V'(H' - F(t'))} = \frac{1 + \alpha t}{1 + \alpha t'}.$$

204. Anwendung des Dampfes als bewegende Kraft; Aeolipile. Die Spannkraft des Dampfes kann als bewegende Kraft benutzt werden. Die erste Idee zu einer derartigen Benutzung des Dampfes wird dem griechischen Mathematiker Heron von Alexandrien zugeschrieben, der die Aeolipile construirt haben soll.

Durch das Ausströmen des Dampfes wird der Apparat vermöge der dadurch erzeugten Rückwirkung in Bewegung gesetzt und zwar aus derselben Ursache, welche die Bewegung in dem Segner'schen Wasserrade (Seite 51) hervorbringt.

In der neuern Zeit sind wieder Versuche zur Anwendung des Dampfes durch Rückwirkung angestellt worden, ohne jedoch zu einem günstigen Resultate zu führen.

Fig. 106.



Der Apparat Heron's (Fig. 106) besteht aus einer hohlen Metallkugel, die um die Axe AB drehbar ist. Der Dampf gelangt durch A aus einem Dampfkessel in die Kugel und strömt durch gekrümmte Ausströmungsröhren CD aus, die in einer auf der Drehungsaxe senkrechten Ebene angebracht sind und deren Oeffnungen OO' alle nach einer Seite hin liegen. Es erfolgt dann eine Drehung der ganzen Kugel in einer der Ausströmung entgegengesetzten Richtung.

Wird dieser Apparat so construirt, daß er nicht drehbar ist und nur eine Ausströmungsröhre hat, bringt man ferner in die Kugel nicht Wasser, sondern Weingeistdampf, so bildet der Dampf, wenn man ihn durch eine brennende Spiritusflamme leitet, einen langen glühenden Dampfstrahl, in welchem man Glasröhren schmelzen kann. Auf diese Art construirt, kann die Aeolipile die Glasbläserlampe ersetzen. —

205. Dampfmaschinen. Die Dampfmaschinen sind Maschinen, in welchen der Dampf eine hin- und hergehende Bewegung hervorbringt, welche auf andere mechanische Vorrichtungen übertragen wird.

Sie bestehen wesentlich aus einem geschlossenen Cylinder, in welchem sich ein Kolben hin- und herbewegen läßt. In der Mitte des Kolbens befindet sich eine Kolbenstange.

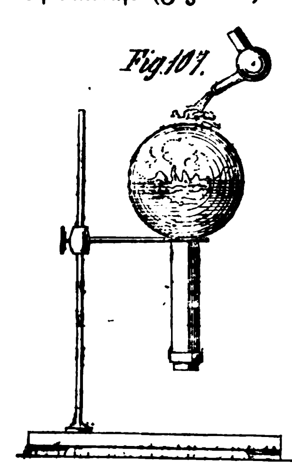
Die aufsteigende Bewegung des Kolbens wird in allen Maschinen durch den Druck des Dampfes hervorgebracht, der unter dem Kolben in den Cylinder gebracht wird. Die niedergehende Bewegung rührt bei der einen Art von Maschinen von dem Luftdrucke, der auf den oberen Theil des Kolbens wirkt, bei einer anderen Art von Maschinen von der Wirkung des Dampfes her. Die erstere Art bilden die atmosphärischen oder einfach wirkenden Maschinen. In beiden Arten von Maschinen wird der Dampf, nachdem er auf die untre Seite des Kolbens gewirkt hat, condensirt und auf eine Spannkraft reducirt, die fast Null ist, wenn der Kolben seinen höchsten Stand erreicht hat und die entgegengesetzte Wirkung sich noch nicht äußert.

206. Atmosphärische Maschinen. Bei den zuerst construirten einfach wirkenden Maschinen geschah die Condensation in dem Cylinder selbst entweder durch Einspritzen von kaltem Wasser in den Cylinder oder durch Abkühlen der Wände derselben. Diese Methode aber, unter dem Kolben einen leeren Raum zu erzeugen, verursachte bei jeder Oscillation einen ungeheuern Wärmeverlust, denn bei jedem Kolbenzuge mußten die Wände abwechselnd bis ziemlich auf 0° abgekühlt werden, damit die Dämpfe condensirt wurden, und darauf bis auf ungefähr 100° erhitzt werden, damit der Dampf seine völlige Spannkraft entwickeln könnte. Dieses abwechselnde Abkühlen und Erwärmen verursachte zugleich Zeitverlust und bedeutenden Aufwand an Brennmaterial.

207. Watt's Condensator. Die Dampfmaschinen litten lange Zeit an dieser Unvollkommenheit, bis Watt auf die Idee kam, die Condensation des Dampfes nicht mehr im Cylinder, sondern in einem abgesonderten Behälter, dem Condensator vorzunehmen. Dadurch bleibt dem Cylinder alle seine Wärme und der Dampf kann alsbald mit aller seiner Tension auf den Kolben wirken.

Das Princip, worauf die Wirkung des Condensators beruht, ist folgendes:

Wenn ein mit Dampf von der Spannkraft F erfüllter Raum A mit einem Raum B, der mit Dampf von der niedrigem Spannkraft f erfüllt ist, in Verbindung steht, so wird sich der Dampf aus A in B niederschlagen und daselbst flüssig werden; so bald das Gleichgewicht hergestellt ist, hat der Dampf, welcher den Gesammtraum erfüllt, nur noch die der niedrigsten Temperatur entsprechende Spannkraft (Fig. 107).



Denken wir uns nun mit dem Cylinder einen Raum durch eine Röhre in Verbindung gesetzt, in welchen fortwährend kaltes Wasser eingespritzt wird, so werden hier alle Dämpfe aus dem Cylinder verdichtet, und in dem Raum wie im Cylinder wird die Spannkraft der Dämpfe in gleichem Maße verändert, ohne daß ein zu großer Wärmeverlust stattfände. Die Communication zwischen dem Condensator und dem Cylinder muß in dem Augenblicke hergestellt werden, in welchem der Kolben seine höchste Stellung erreicht hat; die Unterbrechung muß dagegen stattfinden, sobald der Kolben in seine niedrigste Stellung angelangt ist.

208. Doppelwirkende Maschine. Bei den einfach wirkenden Maschinen ist diese Communication einfach; bei den doppelt wirkenden Maschinen muß sie doppelt sein und zwar in der Weise, daß der Druck abwechselnd über und unter den Kolben treten kann, dagegen aber der über und unter dem Kolben befindliche abwechselnd mit dem Condensator in Verbindung gesetzt wird.

209. Art der Wirkung des Dampfes. Die atmosphärische Maschine hat nun während des Absteigens des Kolbens wirkliche Bewegung und der Atmosphärendruck kann sich mit aller Kraft entfalten. Während des Aufwärtsgehens wird diesem Drucke durch die Spannkraft des Dampfs das Gleichgewicht gehalten, wodurch der Kolben aufwärts geht. Die Bewegung wird alsdann durch ein Gegengewicht hervorgebracht, welches kaum das Gewicht des Kolbens und die Größe der Reibung, welche derselbe an den Wänden des Cylinders erleidet, übersteigt. Die einfach wirkende Maschine wird auch nur zum Wasserheben angewendet.

Die Oscillationen des Pumpenstiefels sind denen des Kolbens im Cylinder gerade entgegengesetzt.

Die doppelwirkende Maschine hat vor der einfachwirkenden den Vorzug, daß sie während der ganzen Dauer des entgegengesetzten Hin- und Herganges des Kolbens ihre Kraft behält.

Bei dieser Maschine ist die atmosphärische Luft ohne Einwirkung. Der Cylinder ist oben mit einem Metalldeckel verschlossen, in dessen Mitte die Stopfbüchse befindlich ist, durch welche sich die Kolbenstange auf- und abbewegen kann, ohne der Luft oder dem Dampf Ein- und Austritt zu gestatten. Durch den Kolben wird also der Cylinder in zwei wohl unterschiedene Theile getheilt, welche abwechselnd mit dem Dampfkessel und dem Condensator communiciren.

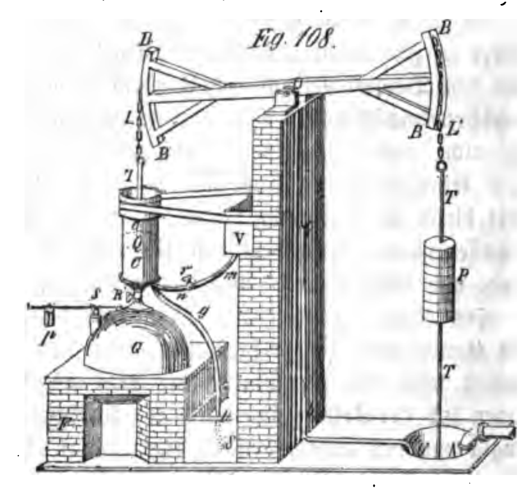
210. Hochdruckmaschinen. Die so eben angeführten Maschinen erfordern nicht mehr als eine Atmosphäre Spannkraft des Dampfes. Die Einrichtung des Condensators aber, ohne welchen der Dampf bei dieser Tension nicht wirken würde, in Verbindung mit den Kaltwasserpumpen vergrößert den Umfang der Dampfmaschine bedeutend, und nicht überall, wo Dampfmaschinen erforderlich waren, hatte man Raum genug dazu. Man kam daher auf den Gedanken, den Condensator ganz wegzulassen. Erst nach der Erfindung der doppelt wirkenden Maschinen war dies möglich, da bei diesen Maschinen sich der Kolben nur durch die Wirkung des Dampfes, unabhängig von der atmosphärischen Luft bewegt. Anstatt den Dampf in einem Condensator zu verdichten, ließ man ihn in die Luft entweichen. Da aber der zurückbleibende Dampf die Spannkraft der Atmosphäre behielt, so konnte nur der Kolben sich bewegen, wenn der auf ihn wirkende Dampf eine Spannkraft besaß, welche die der atmosphärischen Luft bedeutend übertraf. Läßt man nun überhitzten Wasserdampf, der 2—4 Atmosphären Spannkraft besitzt, in den Cylinder treten, so hat er Kraft genug, um den Kolben vorwärts zu schieben und den auf der andern Seite des Kolbens befindlichen Dampf aus der Oeffnung in die Luft zu treiben. Man wählt die Hochdruckmaschine, wenn die Dampfmaschine einen kleinen Raum einnehmen muß, wie es bei den Locomotiven der Fall ist.

Vortheilhafter sind die Hochdruckmaschinen, wenn der Dampf durch Expansion wirkt, mit anderen Worten, wenn der Dampf in dem Augenblicke abgesperrt wird, in welchem der Kolben erst die Hälfte oder zwei Drittheile seines Weges zurückgelegt hat. Der

eingeschlossene Dampf hat das Bestreben sich auszudehnen und bewegt folglich den Kolben bis ans Ende. Man nennt derartig eingerichtete Maschinen Expansionsmaschinen.

Die Wirkung des Dampfes bei den Hochdruckmaschinen wird nicht wie bei den Niederdruckmaschinen durch die Spannkraft des Dampfes in dem Kessel, sondern durch die Differenz zwischen diesem Druck und dem Atmosphärendruck gemessen.

211. Beschreibung der einfach wirkenden und der doppelt wirkenden Maschine. Maschine von Newcomen. Die Fig. 108



zeigt uns eine einfach wirkende Maschine, ehe Watt seine Verbesserung traf.

Der Dampf bildet sich in dem Dampfkessel G, der mit einem Sicherheitsventil s versehen ist. An dem Sicherheitsventil befindet sich ein Hebel mit dem Gewicht p.

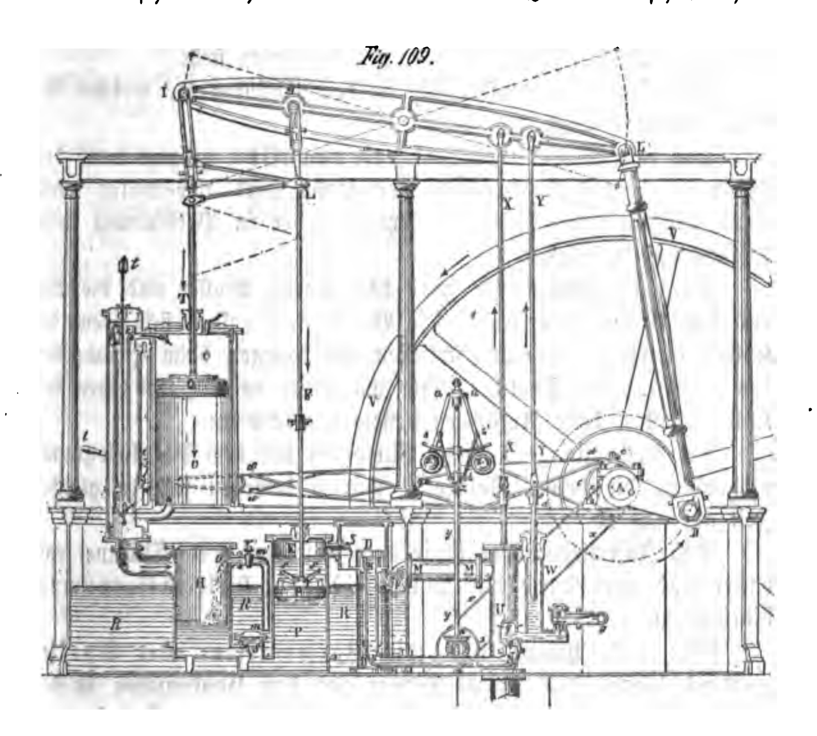
Aus dem Kanal geht der Dampf durch ein kurzes mit dem Hahn R versehenen Rohr in den Cylinder.

T ist die Kolbenstange des Kolbens, der sich in dem oben offenen Cylinder C hin- und herbewegt. L ist die Kette, welche den Kolben mit dem Balancier B B' verbindet. Eine zweite Kette L' verbindet den Balancier mit der Kolbenstange T' der Pumpe. Das Gegengewicht P soll dem Kolben Q der Maschine das Gleichgewicht halten, so daß der Dampf nur den Atmosphärendruck zu überwinden hat.

Das zur Condensation des Dampfes erforderliche Wasser wird

in das Reservoir V durch das Leitungsrohr a b c herbeigeführt; aus dem Reservoir fließt es durch das Rohr m n, in welchem sich der Hahn r befindet, in den Cylinder. Durch das Rohr g l, das mit dem Ventil S versehen ist, fließt das Wasser aus dem Cylinder ab.

Watts Maschine. Fig. 109 zeigt uns eine doppelt wirkende Maschine nach Watt. Der Kolben Q der Maschine theilt



den Cylinder in die beiden Abtheilungen C C'. Bei der jetzigen Stellung des Schiebers fk*) communicirt C mit dem Condensator, C' mit dem Dampfkessel.

Die Bewegung des Kolbens wird vermittelst der Kolbenstange T und des Parallelogramms I K L M auf den Balancier übertragen. Das Parallelogramm (das Watt'sche Parall. genannt) besteht aus mehreren Parallelstücken und hat den Zweck, die

*) Die Einrichtung zur Schließung und Oeffnung des Cylinders und Condensators wird die Steuerung genannt.

Kolbenstange genau senkrecht zu führen. Der Balancier theilt die Bewegung der Stange I'B und dadurch der Kurbel B A mit, wodurch das Schwungrad V in Bewegung gesetzt wird, das die Bestimmung hat, durch seine große Schwungkraft Ungleichförmigkeiten im Gange der Maschine auszugleichen.

Die abwechselnde Bewegung des Schiebers fk wird vermittelst des Hebels led hervorgebracht, der durch das Dreieck ddd mit der excentrischen Scheibe cc in Verbindung steht.

Der Dampf condensirt sich in dem Cylinder H, welcher der Condensator heißt.

Das kalte Wasser (das Injectionswasser) gelangt durch den Heber mm' in den Cylinder; der Hahn wird abwechselnd durch einen Mechanismus, der mit dem Schieber in Verbindung steht, geöffnet und geschlossen.

Durch die Pumpe EF wird das warme Wasser und die Luft aus dem Cylinder entfernt. Die Ventile S, S' öffnen sich, wenn der Kolben in die Höhe geht, schließen sich dagegen beim Herabgehen des Kolbens; die Ventile s sind umgekehrt beim Herabgehen des Kolbens offen, beim Aufsteigen desselben geschlossen.

Die Kolbenstange T dieser Pumpe ist mit dem Parallelogramm verbunden, die beiden Kolben P und Q bewegen sich zu gleicher Zeit auf und ab.

Das Injectionswasser ist in dem Reservoir RR (Cisterne) enthalten und wird durch die Pumpe UX (die Kaltwasserpumpe) hineingepumpt.

Eine dicke Pumpe WY (die Warmwasser- oder Speisepumpe) bringt das warme Wasser aus dem Condensator in den Cylinder DD, aus welchem es durch das Rohr g in den Dampfkessel zurückgebracht wird.

Die beiden Kugeln Z Z' dienen dazu, Gleichförmigkeit im Gange der Maschine zu erzielen. An einer senkrechten Axe Y Y sind zwei Stangen $\alpha\beta$, $\alpha'\beta'$ befestigt, um welche sie sich mit Leichtigkeit bewegen lassen, so daß sie eben so gut frei herabhängen als in andere Lagen gebracht werden können. An dem andern Ende hängt eine Kugel. Die Stangen sind durch Stäbe mit einem Zapfen verbunden, der nach der Axe zurückgeht. Die Stangen bilden mit den beiden Stäben ein Parallelogramm. Entfernt man die Kugeln von der Axe, so wird es flacher und die obere Hülse geht herab. Ueber der Höhe liegen die Hebel Z U, durch welche die Klappe in Bewe-

gung gesetzt wird, welche den Dampf aus dem Kessel in den Cylinder treten läßt, und zwar schließt sie sich noch, wenn die Hülse sinkt, öffnet sich aber, wenn sie steigt. Die Axe der Vorrichtung, welche Regulator oder conisches Pendel genannt wird, wird durch die Welle A des Schwungrades aus in Bewegung gesetzt und vermöge der Centifugalkraft halten sich die Kugeln mehr oder weniger von der Axe entfernt. Fängt die Maschine nun an, schneller zu arbeiten, so dreht sich das Schwungrad schneller, mit ihr das conische Pendel, die Kugeln entfernen sich weiter von der Axe, die Hülse bewegt sich abwärts und dreht die Klappe so, daß weniger Dampf in den Cylinder gelangt, wodurch die Bewegung sich mäßigt und so umgekehrt. Diese Vorrichtung regulirt also den Dampfzufluß. Die Bewegung der Welle A wird durch eine Schnur $\alpha\,\alpha\,\alpha$ und durch ein vertikales conisches Rädchen v, dessen Zähne in ein ähnliches horizontales h eingreifen, auf die Axe Y Ẏ fortgepflanzt.

Siebenzehntes Kapitel.

Von der Hygrometrie.

212. Atmosphärische Feuchtigkeit. — 213. Absorptionshygrometer. — 214. Hygrometrischer Zustand der Luft. — 215. Condensationshygrometer. — 216. Daniells Hygrometer. — 217. Regnaults Hygrometer. — 218. Gewicht eines Liters feuchter Luft. — 219. August's Psychrometer.

212. Atmosphärische Feuchtigkeit. Die Gegenwart des Wasserdampfs ist eine Folge der fortwährenden Verdunstung des Wassers auf der Oberfläche der Erde. Die Feuchtigkeit, welche sich an Gefäßen, in denen Eis oder kaltes Wasser befindlich ist, absetzt; der Thau, welcher die der nächtlichen Strahlung ausgesetzten Körper bedeckt; das Zerfließen gewisser Substanzen an der Luft; die Veränderung des Durchmessers von Stricken und Haaren u. s. w. alle diese Beispiele zeigen uns nicht nur die Gegenwart von Wasserdampf in der Atmosphäre, sondern sie geben uns auch die fortwährende Veränderlichkeit der Quantität desselben an.

213. Absorptionshygrometer. Alle Vorrichtungen, welche die Ermittelung der Menge und der Spannkraft des Wasserdampfes in der Atmosphäre bezwecken, werden Hygrometer genannt. Die Bestimmung der Quantität Wasser, welche in einem gegebenen Volumen atmosphärischer Luft enthalten ist, kann durch Absorption geschehen. Man leitet zu diesem Zweck ein bekanntes Volumen Luft über Chlorcalcium oder Bimstein, der mit concentrirter Schwefelsäure befeuchtet worden ist, und ermittelt durch die Wage die Gewichtszunahme dieser Körper. Durch diese Methode läßt sich die mittlere Spannung und Menge des Dampfes in der Luft während der Dauer eines Versuches ermitteln, keineswegs lassen sich aber durch dieselbe die Variationen der atmosphärischen Feuchtigkeit verfolgen.

214. Hygrometrischer Zustand der Luft. Anstatt die absolute Menge der in einem gegebenen Volumen atmosphärischer Luft enthaltenen Quantität Wasserdampfes zu bestimmen, ist es zweckmäßiger, das Verhältniß zwischen der Quantität des in der Luft zur Zeit des Versuchs enthaltenen Wasserdampfs und der Quantität, welche die Luft bei derselben Temperatur zu sättigen fähig ist, zu ermitteln. Dieses Verhältniß ist gleich dem Quotienten $\frac{f}{F(t)}$ der gegenwärtigen Spannkraft f des Dampfes durch die Spannkraft im Maximum F(t) bei derselben Temperatur.*)

F(t) ist aus den Tabellen der Spannkraft des Wasserdampfes ersichtlich oder nach der Formel (S. 118) zu berechnen; f wird durch das Hygrometer ermittelt.

215. Condensationshygrometer. Der Zweck dieses Apparates ist, die Temperatur zu ermitteln, bei welcher der in der Luft zur Zeit des Versuches enthaltene Wasserdampf gesättigt wird.

Nachdem diese Temperatur bestimmt worden ist, giebt uns die Tabelle der Spannkraft des Wasserdampfes die entsprechende Spannkraft F(t′) an; f kann auf folgende Weise berechnet werden:

$$f = F(t') \frac{1+\alpha t}{1+\alpha t'}.$$

Man begnügt sich f = F(t′) zu nehmen und der hygrometrische Zustand wird alsdann durch das Verhältniß der beiden Maximumtensionen: $\frac{F(t')}{F(t)}$ ausgedrückt.

Leroy in Montpellier, der zuerst dieses Verfahren vorgeschlagen hat, ließ kleine Stückchen Eis in ein Glas Wasser fallen und beobachtete die durch das Thermometer angegebene Temperatur in dem Momente, in welchem die Wände des Glases sich mit Thau bedeckten. Diese Temperatur wurde für die Temperatur der Sättigung gehalten, obgleich sie in Wirklichkeit beträchtlich von derselben entfernt sein kann.

Dieses Verfahren ist nicht genau und nur das Prinzip desselben ist bei den Hygrometern von Daniell und Regnault beibehalten worden.

---

*) Das Gewicht eines Liters Wasserdampf wird durch folgende Formel gegeben:

$$P = 0{,}622 . 1{,}3 \text{ Gr. } \frac{F}{760} \cdot \frac{1}{1+\alpha t}$$

F kann durch f und F(t) ersetzt werden.

216. Daniells Hygrometer. Das Condensationshygrometer von Daniell besteht aus zwei Glaskugeln AB (Fig. 110), die durch eine gebogene Röhre CD mit einander verbunden sind. Die Kugel A enthält Aether, die andere B, die mit einem Mousselinläppchen umgeben ist, ist mit Aetherdämpfen angefüllt. Uebrigens ist der Apparat luftleer.

Fig. 110.

Die Temperatur des Thaupunktes wird durch ein Thermometer bestimmt, das mit seiner Kugel in den in A befindlichen Aether taucht. Um die Luft nun abzukühlen und die Aetherdämpfe in B zu condensiren, tröpfelt man auf die Kugel Aether, der sich verflüchtigt. Die durch die Verdunstung desselben erzeugte Kälte condensirt die im Innern des Apparates befindlichen Aetherdämpfe und bewirkt die Destillation des in A enthaltenen Aethers. Dadurch wird Wärme absorbirt, die Luft, welche die Kugel A umgiebt, abgekühlt und die darin enthaltene Feuchtigkeit niedergeschlagen.

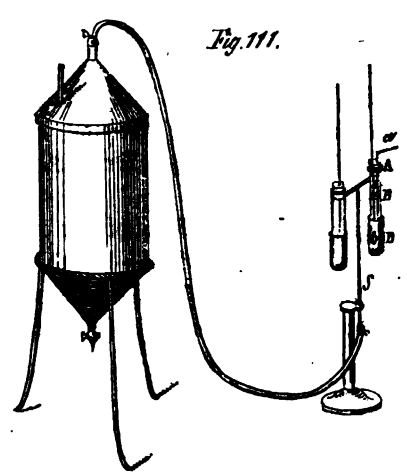
Damit das Niederschlagen der Feuchtigkeit besser hervortritt, nimmt man gewöhnlich die Kugel A aus blauem Glase, oder überzieht sie an den Theilen, welche der oberen Aetherschicht entsprechen, mit einem Gold- oder Silberblättchen. Diese Schicht erkaltet zuerst und in sie muß die Kugel des Thermometers tauchen.

Vermittelst dieses Instrumentes läßt sich annähernd die Temperatur des Thaupunktes bestimmen, wenn man die Abkühlung in der Nähe dieses Punktes nicht zu sehr beschleunigt. Dieses Instrument bietet Uebelstände dar, die nicht beseitigt werden können. Die hauptsächlichsten Uebelstände bestehen in dem schlechten Wärmeleitungsvermögen des Glases und in der Nothwendigkeit, in welcher sich der Beobachter befindet, in der Nähe des Glases bleiben zu müssen. Wenn die Luft endlich von dem Sättigungspunkte weit entfernt ist, so erhält man mit diesem Instrumente kein Resultat.

217. Regnaults Hygrometer. Dieses Instrument ist mit den erwähnten Uebelständen nicht behaftet und gestattet die Ermittelung der Temperatur der Sättigung ziemlich genau.

Der Aether, welcher zur Hervorbringung der Temperaturerniedrigung bestimmt ist, befindet sich in einem Gefäß aus dünnem und polirtem Silberblech D, welches genau in eine Glasröhre AB

(Fig. 111) paßt. Die obere Oeffnung des Glasrohres ist durch einen Kork geschlossen, durch welchen ein Thermometer geht, dessen Kugel sich in dem Gefäße D befindet. Ein dünnes Glasrohr geht durch denselben Pfropf bis in den Aether des Gefäßes D; durch dieses Rohr wird Luft durch den Aether getrieben, um die Verdunstung desselben hervorzurufen. Zu diesem Zwecke ist die Röhre B durch eine Seitenröhre mit einem mit Wasser gefüllten Gefäße in Verbindung gesetzt. Die Aspiration wird mit Hülfe eines Hahnes regulirt.



Indem das Wasser durch das Ausströmen die Luft der Röhre A B über den Aether verdünnt, treten Luftblasen durch den Aether hindurch und sind mit Dämpfen desselben imprägnirt. Die Geschwindigkeit des Abdampfens und folglich auch die Temperaturerniedrigung hängt von der Geschwindigkeit des Durchströmens der Luftblasen ab.

Mit Hülfe dieses Apparates hat der Experimentirende bis zu einem gewissen Grade das Abdampfen und das Abkühlen in seiner Gewalt. In weniger als einer Minute läßt sich ein Niederschlag erhalten und nach einigen Versuchen die Temperatur des Thaupunktes zwischen zwei Temperaturen ermitteln, welche nun um ein $\frac{1}{20}$ Grad von einander differiren. Es ist hier nicht zu fürchten, daß das in den Aether getauchte Thermometer nicht die Temperatur der Luft angebe, denn die Luftschichten, welche das silberne Gefäß umgeben, haben so ziemlich genau die Temperatur des die Wärme gut leitenden Metalles, und in Folge der unaufhörlichen Bewegung der Flüssigkeit auch die Temperatur der Flüssigkeit.

Die Temperaturerniedrigung wird vermittelst eines Fernrohres beobachtet. Die Temperatur der Luft wird durch ein Thermometer angezeigt, das sich in einem dem andern Apparat ähnlichen befindet, der aber keinen Aether enthält. Auf der polirten silbernen Ober-

fläche läßt sich der geringste Hauch eines Niederschlages wahrnehmen.

Auf Reisen kann man den Aether durch Weingeist ersetzen und die Abdampfung desselben durch Hereinblasen von Luft mit dem Munde oder mittelst einer mit Luft gefüllten Blase bewirken.*)

218. Gewicht eines Liters feuchter Luft. Der mit Hülfe des Hygrometers erhaltene Werth f gestattet das Gewicht eines Liters Luft unter den gewöhnlichen Bedingungen des Druckes, der Temperatur und der Feuchtigkeit zu ermitteln.

Dieses Gewicht ist zusammengesetzt aus dem Gewicht der trockenen Luft bei der Temperatur t und unter dem Drucke H—f, und dem Gewicht des Dampfes von der Spannkraft f und der Temperatur t.

Das Gewicht eines Liters trockner Luft unter diesen Bedingungen $= 1{,}3 \frac{H-f}{760} \cdot \frac{1}{1+\alpha t}$.

Das Gewicht eines Liters Dampf $= 0{,}622 . 1{,}3$ Gr. $\frac{f}{760} \cdot \frac{1}{1+\alpha t}$.

Die Summe dieser Gewichte oder das Gewicht eines Liters feuchter Luft $P = 1{,}3$ Gr. $\frac{H-0{,}378f}{760f} \cdot \frac{1}{1+\alpha t}$.

219. Augusts Psychrometer oder Naßkältemesser besteht aus zwei übereinstimmenden Thermometern, die an demselben Gestelle befestigt sind. Die Kugel des einen Thermometers ist mit Mousselin umwickelt, der in ein Schälchen mit Wasser herabreicht, wodurch sie feucht erhalten wird. Die an dieser Kugel erfolgende Verdunstung geht um so schneller von Statten, je weiter die Luft von ihrem Sättigungspunkte entfernt ist. Durch die Verdunstung wird Wärme gebunden und das Thermometer sinkt so lange, bis die umgebende Luft mit Wasserdämpfen gesättigt ist. Der Feuchtigkeitszustand (die psychrometrische Differenz) ergiebt sich aus dem Unterschied beider Thermometer.

*) Dasselbe Hygrometer ist schon 1822, also zwar lange vor der Veröffentlichung von Regnaults Abhandlung, von Döbereiner empfohlen worden.

Achtzehntes Kapitel.

Meteorologische Notizen.

220. Thau. Wenn ein in der Luft befindlicher Körper eine Temperatur annimmt, welche niedriger ist, als diejenige, bei welcher der atmosphärische Wasserdampf das Maximum der Spannkraft hat, so bedeckt er sich mit Wassertröpfchen, welche durch die Condensation dieses Dampfes entstanden sind.

Diesen Niederschlag von Feuchtigkeit bemerkt man an den Wänden eines Gefäßes, das mit kaltem Wasser angefüllt oder durch Verdunstung einer Flüssigkeit abgekühlt worden ist; es kann dieses Niederschlagen auch dann noch stattfinden, wenn die in jedem Augenblicke von dem Körper durch Strahlung verloren gegangene Wärme größer ist als diejenige, welche er von den umgebenden Körpern erhält.

Dies bemerkt man bei Körpern, welche der Luft ausgesetzt sind.

Wenn die von diesen Körpern ausgestrahlte Wärme andere Körper von derselben Temperatur trifft, so findet gleicher Austausch statt und ihre Temperatur erniedrigt sich nicht; sind aber die Körper unter einem reinen wolkenlosen Himmel isolirt, so empfangen sie von den umgebenden Körpern nur wenig Wärme; die Luft, deren Strahlungsvermögen sehr gering ist, den Wärmestrahlen außerdem Durchgang gestattet, ist nicht hinreichend, die Temperatur der Körper zu erhalten und dieselben kühlen ab, da sie unaufhörlich aus-

strahlen; ihre Temperatur kann demnach mehrere Grade unter die Temperatur der umgebenden Luft sinken.

221. Nächtliche Strahlung. Diese Abkühlung ist besonders während der Nacht zu bemerken. Sie läßt sich durch zwei Thermometer nachweisen, von welchem das eine den Boden berührt, das andre aber in einer Entfernung von einem Meter über demselben aufgehängt ist. Das untere Thermometer zeigt stets eine niedrigere Temperatur an, und die Differenz beträgt zuweilen bis zu 8°.

Um sich zu überzeugen, daß die Temperaturerniedrigung von der angegebenen Ursache herrührt, braucht mah nur über das am Boden befindliche Thermometer einen Schirm so zu stellen, daß der Himmel dadurch versteckt wird. Das Thermometer giebt dann ziemlich genau dieselbe Temperatur wie das in der Luft aufgehängte an. Die verloren gehende Wärme wird durch den Schirm restituirt und die Temperatur des Thermometers bleibt unverändert.

Die in der Atmosphäre schwimmenden Wolken können auf das Thermometer dieselbe Wirkung hervorbringen wie die Schirme, indem sie dem Thermometer die oberen Theile des Himmels verdecken und ihm Wärme zusenden. Ihr Einfluß ist so groß, daß ein Thermometer, welches bei reinem Himmel 6,7° weniger als ein in der Entfernung von 1 Meter darüber befindliches Thermometer angiebt, durch das Erscheinen einer Wolke in wenigen Augenblicken um 1,6° steigen kann.

Die von der nächtlichen Strahlung herrührende Temperaturerniedrigung tritt um so mehr hervor, je stärker das Ausstrahlungsvermögen des Körpers ist; so wird die Temperatur der Metalle weit weniger erniedrigt, als die des Holzes und des Papiers.

222. Absetzen des Thaues. Der bekannte wässrige Niederschlag aus der Atmosphäre, welcher sich am Abend und während der Nacht bildet und im Freien befindliche Körper in Gestalt von Tropfen überkleidet, wird durch die Wärmestrahlung der Körper, welche dem freien, heiteren Himmel ausgesetzt sind, erzeugt. Die Bildung des Thaues ist von dem Feuchtigkeitszustande der Atmosphäre, von der nächtlichen Strahlung und von dem Strahlungsvermögen der Körper abhängig.

Die Bewegung der Luft kann auf die Thaubildung von Einfluß sein. Ein gelinder Wind befördert dieselbe, da dieser Wind die Luftschichten erneuert, welche sich abkühlen und ihre Feuchtigkeit auf die Körper absetzen, ohne sie merklich zu erwärmen. Ein

starker Wind ist dagegen der Thaubildung ungünstig, da derselbe durch die Berührung den durch Ausstrahlung entstandenen Verlust wieder ausgleicht.

223. Reif. Wenn die Temperatur der Luft annähernd Null beträgt, so kann die Temperatur des der nächtlichen Strahlung ausgesetzten Körpers unter 0° sinken und der Thau setzt sich darauf als Reif ab. Man sieht daraus leicht, daß selbst dann Reif sich bilden kann, wenn die Temperatur der Luft oberhalb des Gefrierpunktes steht.

224. Bildung der Wolken. Das fortwährend auf der Oberfläche der Erde verdunstende Wasser wird durch die in Berührung mit dem Boden erwärmte Luft fortgerissen. Indem diese Luftmasse sich erheben, haben sie einen geringeren Druck auszuhalten und dehnen sich aus, dadurch kühlen sie sich aber auch zugleich ab. Ihr Feuchtigkeitszustand nimmt in Folge dieser Abkühlung zu und in einer gewissen Höhe sind sie vollständig oder fast vollständig gesättigt. Die geringste Temperaturerniedrigung ist sodann hinreichend, um den Dampf zu verdichten und in Nebelbläschen überzuführen.

Diese Bläschen bestehen ebenso wie die Seifenblasen aus einer flüssigen Hülle, die mit feuchter Luft angefüllt ist. Indem diese Bläschen sich vereinigen, entstehen daraus die Wolken.

Einige Meteorologen nehmen an, daß die Wolken aus Tröpfchen und nicht aus Bläschen gebildet seien; wäre dies nun der Fall, so müßten die Wolken die Eigenschaft haben, das Licht zu zersetzen und, ohne in Regen überzugehen, die Erscheinungen eines Regenbogens hervorbringen, eben so wie es die Wassertröpfchen eines Wasserfalles thun, was aber bekanntlich bei den Wolken nicht der Fall ist.

225. Eintheilung der Wolken. Je nach ihren Gestalten unterscheidet man die Arten von Wolken, nämlich:

1) die Federwolke (cirrus),
2) die Haufenwolke (cumulus),
3) die Schichtwolke (stratus),

außerdem vier abgeleitete Formen:

a) die fedrige Haufenwolke (cirro-cumulus),
b) die streifige Haufenwolke (cumulo-stratus),
c) die fedrige Schichtwolke (cirro-stratus),
d) die Regenwolke (nimbus).

Die Federwolke besteht aus zarten, parallel laufenden oder verwirrten, zuweilen baum= oder lockenartig verzweigten Fasern. Die Federwolken sind die höchsten Wolken. Nach genauen Messungen kann man ihre Höhe auf 6500 Meter schätzen. Höchst wahrscheinlich bestehen die Federwolken nicht aus Nebelbläschen, sondern aus Schneeflöckchen.

Die Haufenwolke oder Sommerwolke erscheint oft in Form halbkugelförmiger Massen, die auf einer horizontalen Basis zu ruhen scheinen. Zuweilen thürmen sich diese Massen übereinander auf und bilden dann jene malerischen Gruppen, welche den Anblick ferner Schneegebirge darbieten.

Die Haufenwolken entstehen durch aufsteigende Strömungen, bilden sich am Tage nach Sonnenaufgang und verschwinden gewöhnlich gegen Abend. Zuweilen aber verschwinden sie nicht nach Sonnenuntergang, sondern werden im Gegentheile dichter und dunkler und gehen in die streifige Haufenwolke über. In diesem Falle hat man Regen oder Sturm zu erwarten.

Die Höhe dieser Art Wolken variirt sehr, sie ist aber stets weit geringer, als die der Federwolke.

Die Schichtwolken dehnen sich über den Himmel in horizontalen Streifen aus, bilden sich gewöhnlich beim Sonnenuntergang und verschwinden beim Sonnenaufgang.

226. Schweben der Wolken. Das Schweben der Wolken in beträchtlichen Höhen der Atmosphäre hat noch keine genügende Erklärung gefunden. Die folgende Erklärung scheint noch die genügendste zu sein.

Die Anhäufung von Bläschen, aus denen die Wolken bestehen, sind keineswegs unbeweglich und bewegen sich vielmehr fortwährend nach unten und fallen; dies geschieht aber in Folge des Widerstandes der Luft außerordentlich langsam. Kommen nun die Bläschen in Schichten trocknerer Luft, so verdampfen sie, lösen sich auf, und steigen bis zur Höhe der mit Feuchtigkeit gesättigten Luftschicht, wo sie von Neuem sich bilden. Auf diese Weise fällt eine scheinbar unbewegliche Wolke langsam nieder, der untere Theil löst sich fortwährend auf, während der obere in demselben Verhältnisse durch die Bildung neuer Schichten zunimmt.

Uebrigens existirt eine dem Fall der Wolken direct entgegengesetzte Ursache; die durch die Erwärmung der Luft in Berührung

mit dem durch Insolation erhitzten Boden entstehenden Strömungen wirken der Richtung des Falles entgegen.

Von der Existenz dieser Strömungen kann man sich leicht durch Seifenblasen überzeugen. In einem Zimmer fallen diese Blasen zu Boden, da ihr specifisches Gewicht größer als das der Luft ist, im Freien dagegen werden sie von dem Luftstrom, der von dem erwärmten Boden emporsteigt, mit fortgeführt.

227. Nebel. Wenn die Verdichtung des Wasserdampfes zu Nebelbläschen in den untern Schichten der Atmosphäre, nahe an der Erdoberfläche vor sich geht, so nennt man den Niederschlag Nebel. Gewöhnlich entstehen Nebel, wenn der Erdboden oder das Wasser der See'n und Flüsse wärmer sind, als die schon mit Feuchtigkeit gesättigte Luft.

Der Nebel kann sich auch unabhängig von der Temperatur der Erdoberfläche bilden, wenn zwei Luftschichten sich mengen, von denen die eine hinlänglich feucht, die andere hinlänglich kalt ist. So entstehen Nebel, wenn kalte Nordostwinde plötzlich in eine Gegend dringen, deren wärmere Luft feucht ist; ebenso auch, wenn plötzlich nach strenger Kälte ein feuchter Südostwind zu wehen beginnt, weil die von ihm mitgeführten Dämpfe bei der erfolgten Abkühlung nicht aufgelöst bleiben können.

228. Regen. Der Regen kann entweder durch unmittelbares Abkühlen der mit Feuchtigkeit gesättigten Luft, oder durch die Vereinigung mehrerer Dampfbläschen entstehen, welche in Gestalt von Tropfen niederfallen. Diese Tropfen lösen sich zuweilen auf, wenn die unteren Luftschichten sehr trocken sind. In anderen Fällen nehmen sie während des Fallens an Größe zu, wenn sie die Temperatur der oberen Luftschichten haben und diese Temperatur niedriger, als die der unteren Luftschichten ist und den Wasserdampf dieser Schichten condensiren.

Je nach der Temperatur der Luftschichten, in welchen diese Condensation erfolgt, strömt der Regen in größerer oder geringerer Menge. Dies rührt daher, daß die Spannkraft des Dampfes schnell mit der Temperatur wächst.

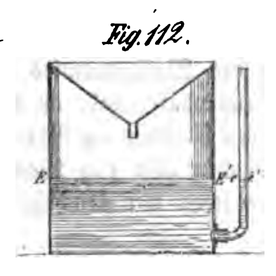
Daraus erklärt sich, warum es unter dem Aequator mehr regnet als in den gemäßigten Zonen, warum im Sommer der Regen häufiger ist als im Winter.

Die Menge des jährlich fallenden Regens bestimmt man durch die Höhe der Schicht, welche der Regen auf dem Erdboden bilden

würde, wenn er nicht in denselben eindränge, auch sonst kein Verlust stattfände.

Udometer, Ombrometer oder Regenmesser. Zum Auffangen des Regens und zur Bestimmung der Menge desselben bedient man sich des Udometers (Fig. 112), welches aus einem Blechcylinder besteht, auf welchem ein zweiter Cylinder mit vertieftem Boden gesetzt wird; in der Mitte dieses trichterförmigen Bodens ist eine Oeffnung, durch welche alles in das offene Gefäß fallende Regenwasser in den untern Cylinder abfließt. Von dem Boden dieses Behälters geht eine nach aufwärts gebogene Röhre aus, welche die Höhe der Wasserschicht in dem Gefäße angiebt.

Fig. 112.



Mit Hilfe dieses Apparates ist nun gefunden worden, daß die Wassermenge, welche jährlich an einem Orte fällt, nicht constant ist, daß sie selbst bis um das Doppelte variiren kann.

Was man im gewöhnlichen Leben ein Regenjahr nennt, ist nicht immer ein Jahr, in welchem verhältnißmäßig die meiste Menge Wasser gefallen ist, denn in einer Stunde Regen im Monat Juli kann eine größere Menge Regen fallen als während mehrerer Tage im Monat November.

Wenn das Udometer sich in einer gewissen Entfernung über der Erdoberfläche befindet, so ist die Quantität des aufgefangenen Wassers geringer, als wenn das Udometer auf der Oberfläche selbst gestanden hätte. Dies rührt daher, daß die Regentropfen in den untern Schichtern eine Temperaturerniedrigung hervorbringen, wodurch die in denselben enthaltene Feuchtigkeit niedergeschlagen wird.

Das auf die Erdoberfläche fallende Wasser verschwindet theils durch Verdunstung, theils sickert es in die Erde und giebt zur Entstehung von Quellen und Brunnen Veranlassung.

229. Schnee. Der Schnee scheint durch unmittelbaren Uebergang des Wassers in Gestalt von Dampf in den festen Zustand entstanden zu sein. Diese Umwandelung geht in den oberen Luftschichten vor sich.

Die ungemein mannichfachen Gestalten des Schnees lassen sich im Wesentlichen auf einen sechsseitigen Stern zurückführen.

230. Hagel. Kleinere Hagelkörner (Schloßen) entstehen durch das Gefrieren von Regentropfen, wenn sie während des Fallens in Schichten gelangen, deren Temperatur unter 0° ist.

Was den eigentlichen Hagel, diese fürchterliche Geisel für den Landmann anbelangt, so scheint die Bildung desselben mit der Elektricität in Verbindung zu stehen. Eine genügende Erklärung der Hagelbildung existirt bis jetzt noch nicht.

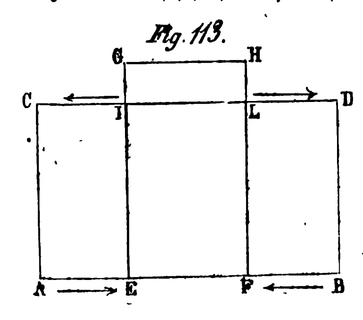
231. Graupeln. Mit diesem Namen (in Süddeutschland Kiesel genannt) bezeichnet man diejenige Art von Hagel, welche aus kleinen undurchsichtigen, weißen, schneeballähnlichen Kugeln besteht, die in eine durchscheinende Eisschicht eingehüllt sind und durch Zusammenbacken von Schneeflocken entstanden zu sein scheint.

Die Bildung der Graupeln erklärt sich, wenn man die verschiedenen Temperaturen in verschiedenen Höhen annimmt, eine obere Schicht, deren Temperatur unter 0° ist, in welche sich der Dampf in Form von Schnee absetzt, eine mittlere Schicht von höherer Temperatur, in welcher der Schnee eine angehende Schmelzung erleidet, und endlich eine dritte Schicht, die von niedrigerer Temperatur als die mittlere Schicht und dem Boden am nächsten ist. In dieser Schicht gefriert der halb geschmolzene Schnee von Neuem.

In unsern Gegenden fallen Graupeln in den Monaten März und April.

Das Glatteis kann entstehen, indem die Graupeln ihre dritte Umwandelung in den der Erdoberfläche zunächst liegenden Schichten erleiden, oder indem die Regentropfen auf den bis unter 0° erkälteten Erdboden fallen.

232. Entstehung der Winde. Der Wind ist eine Folge der Variationen der Dichte, welche Temperaturdifferenzen in aneinander grenzenden Luftschichten hervorbringen.



Nehmen wir an, die Luft habe in ihrer ganzen Höhe gleiche Dichte und oben eine scharfe Grenze. Bezeichnen wir mit AB die Erdoberfläche und mit CD die mit AB parallele Grenze der Atmosphäre. Wenn die ganze Oberfläche AB sich erwärmt, so wird die Luftsäule AB CD (Fig. 113) sich ausdehnen, und da die Dichte überall gleichförmig

bleibt, keine merkliche Bewegung stattfinden. Wird aber EF erwärmt, während AE und FB ihre Temperatur beibehalten, so kann sich nur die Luftsäule EF IL ausdehnen. Die verdünnte Luft zieht sich nun über die benachbarten Theile und erzeugt auf diese Weise Winde, welche hauptsächlich von den wärmsten Ländern nach den kältesten zu wehen.

Wenn diese Erscheinungen in den oberen Regionen stattfinden, so bewirken sie auf dem Boden eine Störung des Gleichgewichtes. Die Luft der Säulen AEIC und BFLD ist mit dem Gewichte der darüber verbreiteten Luft überlastet und erleidet demnach einen stärkeren Druck als die Luft der Säule EFIL, deren Gewicht sich vermindert hat; sie bewegt sich deshalb nach EF hin und erzeugt in den unteren Regionen Wind.

Wäre dagegen die untere Region EF kalt, so wird die darüber befindliche Atmosphäre zusammengezogen und verdichtet; die oberen Theile der Säulen AE und FB fließen nach EF hin, während eine umgekehrte Strömung von EF nach AE und FB geht.

Wenn also zwei aneinander grenzende Regionen ungleich erwärmt sind, so erzeugt sich in den oberen Schichten der Atmosphäre Wind, der von der warmen Region nach der kalten geht; auf der Erdoberfläche bildet sich eine entgegengesetzte Strömung.

Durch folgenden Versuch, der von Franklin ausgedacht worden ist, läßt sich veranschaulichen, was in der Atmosphäre vorgeht. Wenn man im Winter eine Thür öffnet, welche ein geheiztes Zimmer mit einem nicht geheizten verbindet, so finden zwei Strömungen statt, die eine obere von dem geheizten Zimmer in das kalte, die untere in umgekehrter Richtung. Das Vorhandensein dieser Strömungen läßt sich nachweisen, wenn man zwei brennende Kerzen, die eine oben, die andre unten an die Thür hält. Die Flamme der ersten Kerze wird von Innen nach Außen getrieben, die der zweiten umgekehrt.

Zu den Ursachen, durch welche Winde entstehen können, ist auch noch eine schnelle Condensation des atmosphärischen Wassers zu rechnen, wodurch in gewissen Regionen der Atmosphäre ein luftverdünnter Raum entsteht. Da dadurch das Gleichgewicht gestört worden ist, so strömt die Luft nach diesen Regionen und es entstehen mehr oder minder starke Strömungen.

233. Landwinde. Seewinde. An den Küsten bemerkt man bei ruhigem Wetter bis gegen acht und neun Uhr des Morgens

keine Bewegung in der Luft; zu dieser Zeit erhebt sich aber ein gelindes Lüftchen, das stärker wird und an Ausdehnung zunimmt bis gegen drei Uhr Nachmittags. Sodann verschwindet dieser Wind und macht dem Landwind Platz, der kurze Zeit nach Sonnenuntergang beginnt und das Maximum der Geschwindigkeit und der Ausdehnung im Augenblicke des Sonnenaufgangs erlangt.

Die Richtung dieser beiden Winde ist der der Küste perpendiculär. Wenn aber zu gleicher Zeit ein anderer Wind weht, so verändert sich die Richtung nach den Gesetzen der Zusammensetzung der Bewegungen.

Das Alteriren dieser Winde erklärt sich durch ungleiche Erwärmung des Landes und des Meeres. Gegen neun Uhr des Morgens ist die Temperatur des Landes und des Meeres ziemlich dieselbe und die Luft darüber im Gleichgewicht. In dem Maße, als die Sonne sich über den Horizont erhebt, erwärmt sich der Boden stärker als das Wasser und es entsteht ein hochgehender Landwind, der sich an den eilenden Wolken erkennen läßt; zu gleicher Zeit bildet sich ein Seewind, der in der entgegengesetzten Richtung weht. Im Augenblicke des Maximums der Temperatur während des Tages nimmt der Seewind an Intensität zu. Gegen Abend kühlt sich die Luft über dem Lande ab und bei Sonnenuntergang hat sie dieselbe Temperatur wie die Luft über dem Meere. Daher kommt es, daß eine Windstille von mehreren Stunden eintritt. Während der Nacht nimmt die Temperatur des Landes mehr ab als die des Meeres und es herrscht ein Landwind, dessen Maximum der Kraft mit dem Minimum der Temperatur innerhalb der vierundzwanzig Stunden zusammenfällt.

224. Passatwinde. Auf dieselbe Weise erklärt man die regelmäßigen Winde, welche unter den Tropen bis zum 25. oder 30. Grad wehen und von den Seefahrern Passatwinde genannt werden.

Die Aequatorialzonen sind die heißesten der Erde, denn die Sonne entfernt sich wenig nur aus ihrem Zenith; von den Zonen aus vermindert sich aber die Temperatur in dem Maße, als man sich den Polen nähert. Es entsteht demnach daraus eine obere Strömung, die vom Aequator nach den beiden Polen geht, und eine untere in umgekehrter Richtung. Wäre die Erde unbeweglich, so müßten diese Strömungen in den Aequatorialregionen, auf der nördlichen Hemisphäre einen Nordwind, auf der südlichen dagegen einen Südwind hervorbringen. Die Erde dreht sich nun aber von

Osten nach Westen und diese Bewegung ist am Aequator stärker als an jedem andern Orte. Die Luftmassen, welche den höheren Breiten zufließen, würden, da sie ihre Geschwindigkeit beibehalten, nicht mit der Bewegung der Erde in Einklang sein, und würden die Gegenstände treffen, als wenn sie vom Westen kämen. Daraus und aus den Gesetzen von der Zusammensetzung der Kräfte folgt, daß die Winde eine mittlere Richtung der Geschwindigkeit zwischen Nord und West für die nördliche Hemisphäre, für die südliche Hemisphäre dagegen eine mittlere Richtung zwischen Süd und West haben müssen.

In den oberen Regionen der Atmosphäre giebt es Gegenströme von constanter Richtung, welche von der erwärmten Luft der Aequatorialregionen entstanden sind. Auf der nördlichen Halbkugel geht dieser warme Luftstrom nach Norden; in dem Maße, als er gegen den Norden vorschreitet, übertrifft er immer mehr und mehr die Erde in ihrer Rotationsbewegung. Die Zusammensetzung dieser Bewegung von Osten nach Westen mit der ursprünglichen Bewegung von Süden nach Norden erzeugt einen Südwestwind. Aus demselben Grunde entsteht in den oberen Schichten der südlichen Hemisphäre ein Nordwind.

Neunzehntes Kapitel.

Von der Optik.

235. Hypothesen über die Natur des Lichts. Die Natur des Lichts ist uns völlig unbekannt. Hauptsächlich zwei Hypothesen sind zur Erklärung der Erscheinungen des Lichts aufgestellt worden. Diese beiden Hypothesen sind: die Emissions- oder Emanationshypothese und die Undulations- oder Vibrationshypothese.

Die Emissions- oder Emanationshypothese. Nach dieser Hypothese nimmt man an, daß das Licht eine aus ungemein feinen Theilen bestehende Materie sei, welche von den leuchtenden Körpern mit sehr großer Geschwindigkeit fortgestoßen werde. Durch Veränderungen in der Bewegung entstehen die verschiedenen Lichtphänomene.

Die Undulationshypothese. Nach dieser Hypothese entsteht das Licht durch eine Wellenbewegung, welche von dem leuchtenden Körper ausgeht und vermittelst des Aethers (vergl. S. 120) fortgepflanzt wird. Das Licht ist also eben so wie der Schall das Resultat von Wellenbewegungen, die in einem elastischen Mittel fortgepflanzt werden. Das Fluidum, welches das elastische Mittel bildet, ist überall verbreitet und findet sich auch in den Augen. Die Undulationshypothese rührt von Cartesius her; sie wurde von Euler, Young und Fresnel wieder aufgenommen und durch neue

Untersuchungen von Arago und Foucault so vervollkommnet, daß sie fast als der Ausdruck der Wahrheit betrachtet werden kann.

Die in diesem Werkchen zu studirenden einfachen Erscheinungen können ohne die Mithülfe von Hypothesen erklärt und verstanden werden; nicht dasselbe gilt von den neuern Theilen der Optik, die ohne Hypothese nicht gelehrt werden können.

236. Fortpflanzung des Lichtes. Das Licht pflanzt sich in gerader Linie fort.

Wir betrachten diesen Satz als eine der Hauptwahrheiten, die innig mit den Vorstellungen verknüpft sind, welche wir von den Körpern haben. Wollen wir uns überzeugen, ob eine Linie, welche durch zwei Punkte geht, eine gerade Linie ist, so vergleichen wir sie mit dem Lichtstrahl, der von einem Punkte zum andern geht. Wir nehmen also gewissermaßen instinctmäßig an, daß der Lichtstrahl eine Gerade sei.

Daraus geht hervor, daß die von einem leuchtenden Punkte in unser Auge gelangenden Strahlen in einem Kegel zusammengefaßt sind, von welchem der leuchtende Punkt der Scheitel, unsere Pupille die Base ist. Dieser Kegel verwandelt sich in einen abgestumpften Kegel, wenn die Strahlen von einer Oberfläche ausgehen.

237. Schatten. Wenn man zwischen das Auge und den leuchtenden Körper einen undurchsichtigen Gegenstand bringt, dessen scheinbare Oberfläche von dem leuchtenden Punkte aus betrachtet größer ist, als die scheinbare Oberfläche der Pupille, so empfängt das Auge keinen Lichtstrahl, und er wird im Schatten sein.

Der Schatten eines undurchsichtigen Körpers ist derjenige in der conischen Oberfläche begriffene Raum, welcher den leuchtenden Punkt zum Scheitel hat und um den dunklen Körper über die Berührungslinie hinaus beschrieben wird.

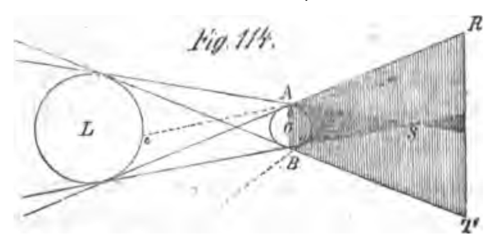
In diesem Falle ist die beleuchtete Gegend scharf von der im Schatten befindlichen getrennt. Nicht dasselbe geschieht, wenn der leuchtende Körper bestimmte Dimensionen hat.

Stellen wir uns eine dem leuchtenden Körper und dem dunklen Gegenstand gemeinschaftliche Tangentialebene vor, und denken wir uns, daß diese Ebene sich bewege, zu den beiden Körpern aber äußerlich tangential bleibe. Die durch die bewegliche Ebene beschriebene Fläche bestimmt die Grenze des Schattens, d. h. diejenigen Raumtheile, zu welchen die von dem leuchtenden Körper ausgehenden Strahlen nicht dringen.

Der Raumtheil, der zwischen dieser ersten Fläche und der durch eine innere, beiden Körpern gemeinsamen Tangentialebene liegt, ist der Halbschatten.

Ein Punkt m des Halbschattens empfängt nur von demjenigen Theile der leuchtenden Fläche Strahlen, welche über der conischen Fläche ist, diesen Punkt zum Scheitel hat und um den dunklen Körper herum beschrieben ist; m ist folglich um so weniger beleuchtet, je näher er der Grenze des Scheitels liegt. Der Halbschatten ist unbegrenzt, der Schatten kann begrenzt sein. Wir entnehmen nun unser Beispiel aus der Natur, stellen uns die beiden Körper sphärisch vor, und den leuchtenden Körper größer, als den undurchsichtigen. Die beiden Flächen werden Kegel und der Schatten ist begrenzt.

L (Fig. 114) sei die leuchtende Kugel, O die undurchsichtige Kugel, so wird der Raum BS im Schatten, der Raum RASBT im



Halbschatten sein. Ein in diesem Raume befindlicher Punkt m wird nur durch den außerhalb des Kegels mbde liegenden Theil der leuchtenden Fläche beleuchtet, der innerhalb des Kegels liegt, welcher seinen Scheitel in m hat und durch die leuchtende Kugel beschrieben ist. Von diesem Punkte aus erscheint die leuchtende Fläche, die wir uns sehr entfernt denken, als ein Segment einer ebenen Scheibe, das zwischen einer Peripherie und der Contour eines Kegelschnitts liegt.

238. Bilder durch kleine Oeffnungen. Dadurch, daß das Licht sich in gerader Linie fortpflanzt, erklärt sich auch das Erscheinen von Bildern in einem geschlossenen Zimmer, wenn die von der Sonne oder von einem leuchtenden Körper ausgehenden Strahlen durch eine Spalte des Fensterladens eintreten können.

Ist die Oeffnung klein und dem geometrischen Punkte vergleichbar, so ist das perspectivische Sonnenbild nichts anderes, als ein Kegelschnitt, dessen Gestalt sich mehr oder weniger der Gestalt eines

Kreises nähert, je nach der Neigung der Projectionsebene zu der Axe des Lichtbündels.

Wenn die Strahlen nicht von einem selbstleuchtenden Körper, sondern von einem beleuchteten Gegenstande ausgehen, so wird das Bild nicht nur den Umriß, sondern auch die Schatten und die hellen Stellen wiedergeben, welche den tiefen und den erhabenen Stellen auf der Oberfläche entsprechen. Ist das Gemälde passend geneigt, so kann es ziemlich deutlich erscheinen.

Die perspectivische Reproduction ist um so weniger vollkommen, je größer die Oeffnung im Fensterladen ist.

239. Geschwindigkeit des Lichts. Geschieht die Fortpflanzung des Lichts unmittelbar oder allmählich? Diese Frage hat lange Zeit die Philosophen gespalten und ist erst im Beginn des vorigen Jahrhunderts von Römer und Bradley entschieden worden. Die von Galilei zur Lösung dieses Problems angestellten terrestrischen Versuche waren ohne Erfolg geblieben; heutzutage findet man dies sehr natürlich, wenn man die Kleinheit der größten terrestrischen Entfernungen mit den unermeßlichen Räumen vergleicht, welche das Licht in einer Sekunde durchläuft.

Beobachtung von Römer. Römer hat den progressiven Lauf und das Maß der Geschwindigkeit des Lichts aus den Beobachtungen der Eklipsen des ersten Jupitertrabanten geschlossen. Die Umdrehungen dieses Satelliten sind von constanter Dauer und da sie in der Ebene des Aequators des Planeten vor sich gehen, so versetzen sie dieselbe periodisch in den Schatten, welchen der Planet nach der der Sonne entgegengesetzten Seite wirft. Die Zeit, welche zwei auf einander folgende Eklipsen von einander trennt, ist genau der Zeit gleich, welche der Trabant zur Beschreibung seiner Bahn nöthig hat; zählt man n auf einander folgende Eklipsen, so wird die Zeit, welche die erste von der $(n+1)$ trennt, gleich sein n Mal der Dauer der Umdrehung des Trabanten. Wenn die Entfernung des Planeten von der Erde stets die nämliche bliebe, wenn das Licht ferner diesen Raum in einem Augenblicke durchliefe, so würden die Eklipsen von dem auf der Erde befindlichen Beobachter in demselben Augenblicke gesehen werden, in welchem sie vor sich gehen, und die Erscheinungen würden wie die Eklipsen selbst in constanten Zeiträumen regelmäßig auf einander folgen. Aber in Folge der relativen Bewegung der Erde und des Planeten, in Folge der Ge-

schwindigkeit der Erde, verglichen mit der des Lichtes, ist dies nicht der Fall.

Durch die Ortsveränderungen der Erde entstehen Differenzen der Perioden der aufeinanderfolgenden Erscheinungen, und wenn man n + 1 aufeinanderfolgende Eklipsen beobachtet, so wird der Augenblick des scheinbaren (n + 1) Eintrittes je nach der Richtung der Bewegung der Erde in Bezug auf den Augenblick des wirklichen Eintritts um die Zeit verzögert oder beschleunigt sein, welche das Licht bedarf, um die Sehne des von der Erde von der ersten Beobachtung an bis zu (n + 1) hin beschriebenen Bogens zu durchlaufen.

Römer fand, als er die Anzahl der Eklipsen, die von der Zeit der Conjunction bis zur Zeit der Opposition der Erde mit dem Jupiter stattgefunden haben, zählte, daß das Licht ungefähr eine Viertelstunde braucht, um den Durchmesser der Erdbahn zu durchlaufen. Die Geschwindigkeit des Lichts in einer Sekunde beträgt daher nahe 41900 Meilen.

Wiederholungen der Versuche Römers mit andern Trabanten Jupiters und Saturns haben gezeigt, daß die Geschwindigkeit des Lichts constant ist. Die Entdeckung der Aberration oder Abirrung des Lichts der Gestirne durch Bradley hat die Beobachtung Römers bestätigt.

Die Geschwindigkeit des Lichts ist auch in der neuesten Zeit auf der Erdoberfläche gemessen worden. Fizeau und später Foucault haben durch verschiedene Mittel dieselbe Zahl, wie die auf astronomischem Wege erhaltene, gefunden.

240. Die Intensität des Lichts. Die Intensität des von einem Körper ausgehenden Lichts variirt mit dem Sinus der Neigung der Strahlen zu der Fläche.

Eine leuchtende Kugel erscheint in der Entfernung wie eine Scheibe von derselben scheinbaren Contour; die Sonne, der Mond scheinen leuchtende Kreise zu sein; eine weißglühende Kugel, Prisma von polirtem Stahl oder Silber erscheinen von Weitem als leuchtende Flächen.

Dieses constante Factum zeigt, daß Lichtbündel von der nämlichen Breite dem Auge die nämliche Lichtmenge zuführen, oder daß ein jedes Element der leuchtenden Fläche das Sehorgan afficirt.

Bezeichnen wir mit i' die Intensität des Lichts, das in schiefer Richtung von einem Element der Oberfläche ω' ausgestrahlt wird,

mit i die Intensität des von der Projection ω ausgestrahlten Lichts, welche gleich ist der des normal von der Fläche ausgestrahlten Lichtes, so haben wir:

$$i'\omega' = i\omega \text{ und da } a = a' \sin\alpha, \; i' = i \sin\alpha;$$

α ist der Winkel der in das Auge fallenden Lichtstrahlen mit der Fläche a'.

Die Beleuchtung einer Fläche ist abhängig von der Quantität des Lichts, das auf diese Fläche fällt und von dem Sinus des Einfallswinkels.

Angenommen, die Lichtstrahlen bildeten ein cylindrisches Bündel von gleichförmiger Intensität; fallen sie auf eine Ebene, welche zur Axe des Cylinders perpendicular oder geneigt ist, so vertheilen sie sich gleichförmig, ist Q die Quantität des Lichtes, S die Fläche des in dem Cylinder durch die Ebene gebildeten Abschnittes, so ist $\frac{Q}{S} = E$ die Quantität des auf jede Einheit der Oberfläche verbreiteten Lichts oder die Intensität der Beleuchtung.

Die Beleuchtung variirt demnach in umgekehrtem Verhältnisse der Fläche des Abschnittes in dem leuchtenden Cylinder, oder im geraden Verhältnisse des Sinus des Winkels der Strahlen mit der Schnittfläche.

241. Gesetz der Entfernung. Die Intensität des Lichts ist dem Quadrat der Entfernung umgekehrt proportional.

Dieses Gesetz ist ein Corollarium der Emissionshypothese.

Der von einem Punkte ausgehende Lichtstrom verbreitet sich sphärisch um diesen Punkt herum und nimmt in seinem Laufe Dichten an, die im umgekehrten Verhältnisse der sphärischen Oberflächen, auf welche man sie in einem gegebenen Momente annehmen kann, variiren.

Daraus

$$\frac{\Delta}{\Delta'} = \frac{4\pi R'^2}{4\pi R^2} = \frac{R'^2}{R^2}.$$

R' und R sind die Strahlen von zwei Kugeln, die als Centrum den leuchtenden Punkt haben, Δ' und Δ sind die entsprechenden Dichten des Lichtfluidums.

In der Emissionshypothese sind die erzeugten Effecte dieser Dichten proportional.

In der Undulationshypothese versetzt eine gleiche Ursache von Erschütterung nach und nach homogene sphärische Schichten von gleicher

sehr kleiner Dicke E, welche ausgedrückt werden können durch $4\pi R^2 E$, $4\pi R^2 E$... in Vibration. Die erzeugten Effecte müssen demnach im umgekehrten Verhältnisse der Massen oder der Volumen dieser verschiedenen Schichten, oder wegen der gemeinschaftlichen Dicke im umgekehrten Verhältnisse ihrer Oberflächen variiren.

242. Beleuchtung eines Punktes. Wenn man das Gesetz des Sinus mit dem Gesetz der Entfernung verbindet, so läßt sich leicht beweisen, was schon bei Gelegenheit der Wärme geschehen ist, daß die Beleuchtung eines Punktes, oder der in einem Punkte eines Körpers oder eines empfindlichen Organs erzeugte Effect, proportional ist der Intensität der normal von dem leuchtenden Körper ausgehenden Strahlen, so wie der scheinbaren Oberfläche des von diesem Punkt aus gesehenen Körpers.

Durch dieses Theorem reducirt sich die Vergleichung der Intensitäten zweier Lichtquellen auf die Vergleichung der von leuchtenden Flächen von derselben scheinbaren Größe erzeugten Effecte.

243. Photometrie. Die größte Schwierigkeit besteht in der Ermittelung des Verhältnisses dieser Effecte.

Beschränkt man sich darauf, dieses Verhältniß mittelst des Sehorgans zu constatiren, so wendet man gewisse Umwandlungsverfahren an, worauf die sogenannten photometrischen Methoden beruhen.

Diese Methoden haben zum Zweck, die zu untersuchenden Lichtintensitäten gleich zu machen, da das Auge nicht fähig ist, die Differenz oder das Verhältniß zweier verschiedener Helligkeiten zu einander anzuzeigen, wohl aber im Stande ist anzugeben, ob die Helligkeiten gleich sind oder nicht.

Es ist dabei nothwendig, daß der auf das Sehorgan hervorgebrachte Eindruck nicht zu stark sei, um das Organ zu ermüden und zu blenden. Man setzt deshalb zwischen das Licht und das Auge einen durchscheinenden Schirm.

Dieser Schirm ist unumgänglich nothwendig, wenn es sich darum handelt, die mittlere Intensität oder das Leuchtvermögen eines Leuchtstoffes zu messen, welcher keinen gleichförmigen Glanz besitzt.

Das Photometer von Bouguer (Fig. 115) ist nach diesen Principien eingerichtet. Von zwei gleich großen Blättern Papier AB wird das eine durch das Licht beleuchtet, das als Einheit die-

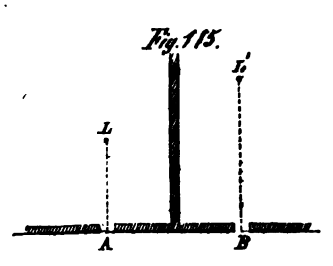


Fig. 115.

nen soll, das andere durch das zu messende Licht. Diese beiden Lichter werden von einander durch einen undurchsichtigen Schirm getrennt. Das erste Licht bleibt in einer constanten Entfernung von dem Schirme; das andere Licht wird von dem Schirme entfernt oder denselben genähert, bis die beiden durchscheinenden Flächen in derselben scheinbaren Größe gesehen und durch fast perpendiculare Strahlen beleuchtet, von gleicher Helligkeit erscheinen. Unter diesen Bedingungen kommen scheinbar:

$$\frac{l}{d^2} = \frac{l'}{d'^2}.$$

$l\,l'$ sind die Intensitäten der beiden Lichter, d und d' ihre Entfernungen von dem Schirme.

Zwanzigstes Kapitel.

Von der Reflexion des Lichtes.

244. Uebergang des Lichtes aus einem Mittel in ein anderes. — 245. Reflectirtes Licht. — 246. Einfluß des Einfallswinkels. — 247. Regelmäßige Beugung. — 248. Spiegelbilder. — 249. Concave sphärische Spiegel. — 250. Secundäre Brennpunkte. — 251. Convexe sphärische Spiegel. — 252. Bestimmung des Hauptfocus.

244. Uebergang des Lichtes aus einem Mittel in ein anderes. So lange das Licht sich in einem homogenen Mittel fortpflanzt, bewegt es sich in gerader Linie und ohne sich zu theilen. An der Trennungsfläche zweier Mittel theilt es sich aber, ein Theil des Lichtes geht in das erste Mittel zurück, ein anderer Theil dringt in das zweite Mittel ein. Ist dieses zweite Mittel undurchsichtig, so wird die leuchtende Bewegung in geringer Entfernung von der gemeinsamen Oberfläche vernichtet; ist es dagegen durchsichtig, so pflanzt sich das Licht daselbst nach Gesetzen fort, welche von der Natur und von der physikalischen Beschaffenheit des Mittels abhängig sind. Wir betrachten diese Gesetze nur in dem einfachen Falle eines homogenen nicht krystallinischen Mittels, zuerst aber betrachten wir denjenigen Theil des Lichtes, welcher in das erste Mittel zurückgeht.

245. Reflectirtes Licht. Zu diesem Behufe stellen wir uns vor, wir befinden uns in einem finstern Zimmer, durch dessen mit einer engen Oeffnung versehenen Fensterladen Sonnenstrahlen eintreten. Das Sonnenlicht tritt in das Zimmer in Gestalt eines schmalen Streifens ein, welcher uns durch die Erleuchtung der in der Luft befindlichen Sonnenstäubchen bemerkbar wird.

Bringt man in die Richtung dieses Sonnenstreifens eine Glasplatte mit polirten und parallelen Flächen, so bemerkt man folgende Erscheinungen:

1) Ein Theil des Lichtbündels wird unter einem Winkel reflectirt, der von dem Einfallswinkel abhängig ist. Das in dieser Richtung befindliche Auge empfängt ein lebhaftes glänzendes Bild.

2) Die Stelle, an welcher der Lichtstrahl die obere Fläche der Glasplatte trifft, ist von allen Punkten des Zimmers außerhalb der Richtung des reflektirten Strahls aus sichtbar; in der letzteren Richtung aber erscheint er mehr beleuchtet als in jeder anderen.

3) Ein anderer Theil des Lichtbündels geht durch die Platte hindurch und gelangt zur zweiten Fläche, wo eine neue Spaltung stattfindet, ein Theil des Lichtes wird in das Glas reflectirt, ein zweites geht in die Luft über.

Das, was an der ersten Fläche der Glasplatte vorgeht, findet auch bei allen durchsichtigen oder undurchsichtigen Körpern statt, vorausgesetzt, daß dieselben polirt sind. Das Licht, welches das Bild des leuchtenden Gegenstandes hervortreten läßt, ist regelmäßig reflectirt, das Licht, welches sich in allen Richtungen verbreitet, ist diffus oder unregelmäßig reflectirt.

246. Einfluß des Einfallswinkels. Die Quantität des diffusen Lichtes ist von der Beschaffenheit der Oberfläche und von dem Einfallswinkel der Strahlen abhängig.

Nimmt man ein Glas mit matt geschliffener Oberfläche und bringt man dasselbe fast normal in den Lichtstrahl, so bemerkt man kein regelmäßiges Bild und das Licht wird gleichförmig nach allen Richtungen hin zurückgeworfen. Es geschieht dieß so lange, als der Lichtstrahl nur einen sehr kleinen Winkel mit der Fläche bildet.

Verändert man nun allmählich diesen Winkel, so findet man, daß die regelmäßige Reflexion mit den orangegelben Strahlen beginnt, und in dem Maße, als die Neigung zunimmt, wird das reflectirte Licht lebhafter und das erzeugte Bild deutlicher. Die nämlichen Erscheinungen zeigen sich bei allen Körpern. Der Einfluß des Einfallswinkels giebt sich nicht allein bei der Menge des reflectirten Lichtes, sondern auch bei der Quantität des durchgehenden Lichtes zu erkennen. Es ist eine bekannte Thatsache, daß Fensterscheiben, Oberflächen von Flüssigkeiten, Bilder von Gegenständen zurücksenden und daß diese Bilder um so deutlicher sind, je kleiner der Einfallswinkel ist, unter welchem die von den Gegenständen ausgehenden Strahlen anlangen.

247. Regelmäßige Reflexion. Die derselben zu Grunde liegenden Gesetze sind folgende: Der einfallende Strahl und

der reflectirte Strahl sind zu der reflectirenden Fläche in derselben Normalebene; sie bilden mit den Normalen dieser Fläche im Einfallspunkte gleiche Winkel.

Diese Gesetze lassen sich auf experimentellem Wege beweisen.

Man bildet mit Hülfe einer großen Quecksilberfläche, die man als eben betrachten kann, einen künstlichen Horizont, und betrachtet mit Hülfe eines Theodolithen irgend einen Stern und sodann dessen Bild in dem Quecksilber. Man findet nun, daß in beiden Lagen die Axe des Fernrohres mit den Horizontalen gleiche Winkel bildet.

Der Einfallswinkel ist demnach gleich dem Reflexions- (Ausfalls-) winkel.

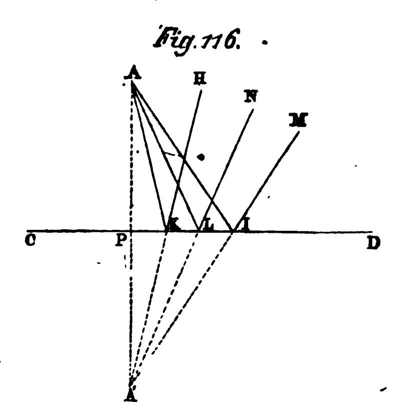
Man geht hierbei von der Voraussetzung aus, daß der in das Auge des Beobachters gelangende Strahl parallel mit dem auf das Quecksilber fallenden sei, was auch bei der unermeßlichen Entfernung des Sternes von der Erde in der That der Fall ist.

248. Spiegelbilder. Die Gesetze der Reflexion erklären das Erscheinen eines leuchtenden Punktes in einem Spiegel.

Planspiegel. Bei den Planspiegeln scheinen die von einem Punkt ausgegangenen Lichtstrahlen von einem symmetrischen Punkte des letzteren aus in Bezug auf die Ebene des Spiegels zu divergiren

A (Fig. 116) sei ein leuchtender Punkt, CD die ebene Fläche des Spiegels; die Strahlen AI, AK, AL werden nach den Richtungen A'IM, A'ZN reflectirt; diese letzteren Richtungen erhält man, wenn man die Einfallspunkte I, L, K mit dem mit A symmetrischen Punkte A' verbindet. Die in das Auge des Beobachters gelangenden reflectirten Strahlen erzeugen daselbst von diesem Punkte aus das Bild des Gegenstandes.

Fig. 116.

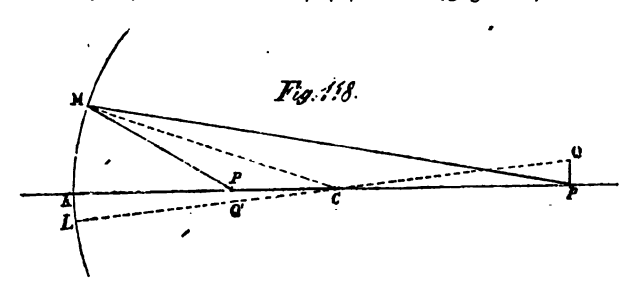


Daraus und aus geometrischen Gesetzen der Symmetrie folgt, daß die Reflexion des Lichtes in einem Planspiegel den Gegenständen das symmetrische Bild derselben substituiren muß, denn ein jeder Punkt eines leuchtenden Gegenstandes wird in dem Spiegel durch seinen symmetrischen Punkt repräsentirt.

$$\frac{1}{q}+\frac{1}{q}=\frac{1}{f}.$$

Bilder. Das Bild eines kleinen vor dem Spiegel befindlichen Gegenstandes ist die Stelle aller Brennpunkte, die durch die vorstehende Formel bestimmt werden.

Ist der Gegenstand eine kleine leuchtende zur Axe perpendiculare Ebene, so ist das Bild auch fast eben (Fig. 118) und die Be-



ziehung der homologen Dimensionen des Bildes und des Gegenstandes wird durch die ähnlichen Dreiecke CPQ und CP'Q' ausgedrückt, welche geben

$$\frac{PQ}{P'Q'}=\frac{CP}{CP'},$$

nach den Proportionen des vorigen Paragraphen aber:

$$\frac{CP}{CP'}=\frac{AP}{AP'};$$

demnach

$$\frac{P'Q'}{PQ}=\frac{AP'}{AP} \text{ oder } \frac{\text{Bild}}{\text{Gegenstand}}=\frac{p'}{p}=\frac{p-f}{f}.$$

Diese Proportion zeigt, daß wenn $p>2f$, das Bild kleiner ist als der Gegenstand; daß es bei $p=2f$ gleich ist dem Gegenstand, und bei $p<2f$ größer ist als der Gegenstand.

So lange p größer bleibt als f, so lange ist das Bild ein wirkliches und umgekehrtes.

Befindet sich der Gegenstand zwischen dem Spiegel und dem Hauptbrennpunkt, so hat man, wenn man p' positiv nimmt:

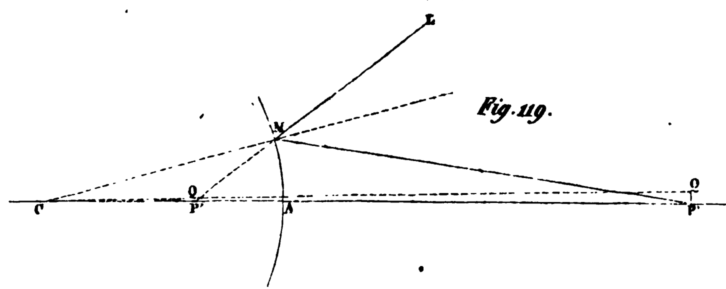
$$\text{Bild}:\text{Gegenstand}=p':p=f:f-p.$$

Das Bild ist übrigens virtuell, gerade und größer als der Gegenstand; es bringt den Effect einer hinter dem Spiegel befindlichen leuchtenden Gestalt hervor.

251. Convexe sphärische Spiegel. Die Formel der convexen sphärischen Spiegel wird aus denselben physikalischen und geometrischen Betrachtungen deducirt.

Nimmt man nun Strahlen, welche mit der Axe einen sehr kleinen Winkel bilden (Fig. 119), so hat man immer noch:

$$CP' : CP = AP' : AP.$$



Woraus, wenn man mit p und p' die Entfernungen der Punkte P, P' vom Spiegel bezeichnet

$$p : p' = p + 2f : 2f - p';$$

dies giebt:

$$p(2f - p') = p'(p + 2f),\ 2f(p - p') = 2pp',$$

und endlich

$$\frac{1}{p'} - \frac{1}{p} = \frac{1}{f};$$

p wird in dem Sinne von 2f hinter dem Spiegel gerechnet. Der Brennpunkt ist stets virtuell.

Das Bild eines Gegenstandes wird erhalten, wenn man das secundäre Bild eines jeden Punktes construirt; es ist stets virtuell, gerade und kleiner als der Gegenstand.

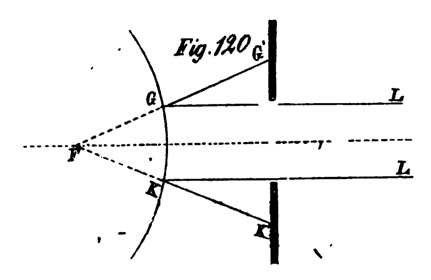
Für eine zur Axe perpendiculare leuchtende Ebene, gilt immer noch:

$$\text{Bild} : \text{Gegenstand} = p' : p = f : f + p.$$

252. Bestimmung der Hauptbrennpunkte. Um den Hauptbrennpunkt eines concaven sphärischen Spiegels zu bestimmen, bringt man ihn in die Sonne oder setzt ihn den Strahlen eines entfernten leuchtenden Gegenstandes aus, indem man seine Axe parallel zu den einfallenden Strahlen richtet. Die Strahlen werden reflectirt und geben von dem Spiegel ein glänzendes Bild. Der Punkt, in welchem das Bild am lebhaftesten ist, ist der Hauptbrennpunkt; das Doppelte dieser Entfernung dieses Punktes vom Spiegel giebt den Strahl.

Um den Strahl eines convexen sphärischen Spiegels zu ermitteln, bedeckt man seine Oberfläche mit einem matten Ueberzug mit Ausnahme von zwei kleinen Kreisen, welche derselben Zone angehören und demselben Meridian entsprechen. Man setzt darauf den

Spiegel den Sonnenstrahlen aus und bringt die Axe des Spiegels der Richtung der Sonnenstrahlen parallel; die Strahlen werden von den beiden glänzenden Flecken reflectirt und treffen die Ränder eines Schirmes, in welchem eine Oeffnung den auffallenden Strahlen Durchgang gestattet. Die Ebene des Schirmes ist perpendicular zur Oeffnung des Spiegels (Fig. 120).



Dieser Schirm wird in eine solche Entfernung von dem Spiegel gebracht, daß die beiden Projectionen durch einen Raum von einander getrennt sind, der das Doppelte des Zwischenraumes zwischen den beiden glänzenden Flächen ist. Die Entfernung des Schirmes vom Spiegel ist alsdann ziemlich der Brennweite des Spiegels gleich. Es geht dies aus der Aehnlichkeit der beiden Dreiecke FGK und FG'K' hervor.

Einundzwanzigstes Kapitel.

Von der Refraction.

253. Refraction. Wenn ein Lichtstrahl aus einem Mittel in ein anderes übergeht, so nimmt er im Allgemeinen an der Trennungsfläche beider Mittel eine andere Richtung an. Diese Veränderung der Richtung ist von der Natur und der Constitution der beiden Mittel abhängig.

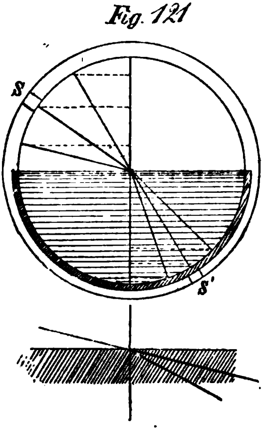
Gelangt der Strahl aus dem leeren Raume in ein wägbares Mittel, so nähert er sich im Einfallspunkte der zu der Oberfläche Normalen; dasselbe ist auch der Fall, wenn das zweite Mittel von derselben Natur wie das erste, aber von größerer Dichte ist.

Gesetz von Cartesius. In allen Fällen, in welchen der Uebergang in durchsichtigen, nicht krystallisirten oder in Tesseralsysteme krystallisirten Körpern stattfindet, bleibt der gebrochene Strahl ungetheilt. Er ist in der Ebene enthalten, welche durch den einfallenden Strahl und der zur Oberfläche Normalen im Einfallspunkte führt, und der Sinus des Einfallswinkels ist zum Sinus des Refractionswinkels in einem constanten Verhältniß.

Unter Einfallswinkel und Refractionswinkel versteht man die Winkel, welche durch die Normale und den einfallenden und gebrochenen Strahl gebildet werden. Dieses Gesetz, welches von Snellius aufgefunden und unter dem Namen des Gesetzes von Cartesius bekannt ist, läßt sich auf experimentellem Wege nachweisen.

Man bedient sich zu diesem Zwecke eines halbkugelförmigen Gefäßes von Glas, das mit einem getheilten Metallringe versehen ist (Fig. 121). Läßt man nun ein feines Bündel Sonnenlicht gerade nach diesem Mittelpunkt gerichtet eintreten, so macht es einen Winkel mit dem Einfallslothe, den man an dem getheilten Metallringe ablesen kann. Der Brechungswinkel kann ebenfalls an demselben Metallringe abgelesen werden, da man sieht, an welcher Stelle der gebrochene Lichtstrahl die Wand des Glases trifft, um wieder in die Luft auszutreten.

Fig. 121



Die berechneten Sinus dieser Winkel geben das Verhältniß $\frac{\sin i}{\sin r}$ und der für verschiedene Richtungen des einfallenden Strahles wiederholte Versuch führt zu dem Verhältniß:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \text{Constant.}$$

Wenn man das Licht durch den convexen Theil des Cylinders eintreten läßt und demselben die Richtung des gebrochenen Strahles ertheilt, so findet man, daß das Licht gebrochen wird und die Richtung des einfallenden Strahles annimmt.

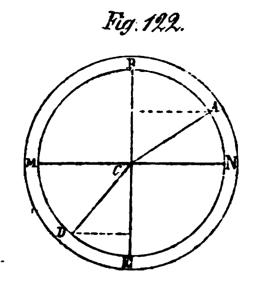
Hat man für den Uebergang aus der Luft in das Glas $\frac{\sin i}{\sin r} = l$, so hat man für den Uebergang aus dem Glas in die Luft $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{1}{l}$.

l, d. h. der Quotient aus dem Refractionswinkel in den Sinus des Einfallswinkels heißt der **Brechungsexponent** oder der **Brechungsindex**.

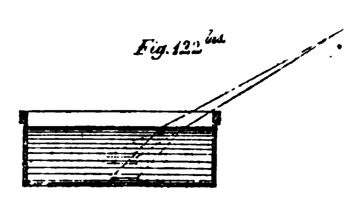
254. Refraction in flüssigen Körpern. Die Refractionsgesetze lassen sich bei Flüssigkeiten mittelst eines mit Wasser gefüllten und mit einem getheilten Metallringe versehenen halbkugelförmigen gläsernen Gefäßes nachweisen. Der gebrochene Strahl erleidet, indem er durch die Glaswand geht, keine Ablenkung und verhält sich wie wenn er durch eine isolirte Flüssigkeit ginge. –

Es läßt sich auch durch folgenden Versuch das Gesetz der Refraction in Flüssigkeiten nachweisen.

Man bedient sich eines kupfernen Ringes C (Fig. 122 und 122 bis), der von zwei Metalldrähten MN und BC, die sich perpendicular in dem Centrum kreuzen, durchzogen ist. Von dem Centrum aus gehen zwei schwarzseidene Fäden AC, CD bis zu dem Ring und bilden mit AE die Winkel BCA, ECD, die unter sich durch die Relation $\frac{\sin BCA}{\sin ECD} = \frac{4}{3}$ verbunden sind ($\frac{4}{3}$ ist der Brechungsindex aus der Luft in das Wasser.)



Taucht man den Ring bis zu dem diametralen Faden MN ins Wasser, so daß derselbe horizontal zu stehen kommt, so findet man, wenn man von A aus in der Richtung AC beobachtet, daß die beiden Fäden in der Verlängerung des einen von dem andern erscheinen. Daraus schließt man, daß das Licht, indem es aus dem Wasser in die Luft übergeht, sich von der zu der freien Fläche Normalen entfernt und zwar in dem durch das Gesetz des Sinus angegebenen Verhältnisse, ohne aus der Ebene herauszutreten, welche durch diese Linie und den einfallenden Strahl führt.



Wenn die beiden Fäden in gerader Linie gespannt gewesen wären, so würde der untere Faden über den Horizont erhaben erscheinen. Daraus erklärt sich, warum ein gerader in Wasser getauchter Stab an der Oberfläche der Flüssigkeit gebrochen erscheint, warum ein Gefäß weniger tief aussieht, wenn es mit Wasser gefüllt, als wenn es leer ist.

255. Grenze der Refraction. Das constante Verhältniß $\frac{\sin i}{\sin r} = l$ zeigt, daß der gebrochene Lichtstrahl sich von der Normalen entfernt, wenn der Einfallswinkel zunimmt; für $l > 1$ jedoch entfernt er sich minder schnell als der einfallende Strahl, denn wenn sin i von 0 zu 1 wächst, nimmt sin r nur von 0 zu $\frac{1}{l}$ zu.

Nennen wir R den Werth des $\sin r = \frac{1}{l}$ entsprechenden Winkels und nehmen an, daß die Lichtstrahlen in einem Punkte der berechneten Fläche von allen Punkten einer beleuchteten Fläche ge-

kommen seien, so brechen sich diese Strahlen, indem sie in das Mittel eintreten, und bilden ein zusammengezogenes Bündel, das in einem Kegel des Winkels 2 R begriffen ist, der den Einfallspunkt zum Scheitel und die Axe zur Normalen hat.

256. Totale Reflexion. Wenn ein Lichtstrahl, indem er sich in Wasser fortpflanzt, einen Winkel von 48° 35′ mit dem Einfallslothe macht, so wird er sich nach seinem Austritte parallel der Trennungsfläche bewegen und mit dem Einfallslothe einen Winkel von 90° bilden. Wird der Werth dieses Winkels überstiegen, so kann sich das einfallende Licht nicht mehr in reflectirtes Licht und in durchgehendes Licht spalten und es wird total reflectirt.

Die Erscheinung der totalen Reflexion läßt sich durch einen sehr einfachen Versuch constatiren.

Man bringe in ein Gefäß mit ebenen vertikalen Wänden zwei Flüssigkeiten von verschiedener Dichte und verschiedenem Brechungsvermögen, z. B. concentrirte Schwefelsäure und Wasser. Das Wasser wird vorsichtig über die Schwefelsäure gegossen, so daß es sich mit derselben nur in den Schichten, welche der Trennungsfläche zunächst liegen, mischt. Darauf klebt man an die äußere Wand des Gefäßes und zwar etwas unter der gemeinsamen Grenze beider Flüssigkeiten, ein Stück beschriebenes Papier. Bringt man nun das Auge ungefähr in die Höhe des Papierstreifens, so bemerkt man von der dem Papier entgegengesetzten Seite her, anstatt einer Zeile auf dem Papier zwei Zeilen, auf der einen Zeile sind die Buchstaben gerade, auf der anderen sind sie umgekehrt. Diese letztere Linie rührt von den auf der Trennungsfläche beider Mittel total reflectirten Strahlen her.

Luftspiegelung. Diese den Seeleuten wohl bekannte Erscheinung ist nichts anders als ein Phänomen totaler Reflexion, die an der gemeinsamen Grenze zweier Luftschichten von verschiedener Dichte stattfindet.

257. Durchgang des Lichtes durch eine Platte. Wenn ein Lichtstrahl durch eine homogene durchscheinende Platte mit parallelen Flächen geht, so wird derselbe im Innern der Platte abgelenkt, nach dem Heraustreten aus dem Glas hat er aber wieder seine ursprüngliche Richtung angenommen.

Bezeichnen wir mit i den äußern Einfallswinkel, mit r und r' die innern Refractions- und Einfallswinkel, mit e den Austrittswinkel, so haben wir in Folge des Parallelismus der Flächen des

Mittels $r' = r$, woraus $\sin i = l \sin r$; und $\sin e = l \sin r$; demnach $\sin e = \sin i$; $e = i$, der austretende Strahl ist parallel dem eintretenden Strahle.

Wenn die Platte aus mehreren Schichten von verschiedener Natur besteht, die durch parallele Flächen begrenzt sind, so findet dasselbe Gesetz statt. Das Licht beschreibt im Innern der Platte eine gebrochene Linie, deren Gestalt durch die relativen Lichtbrechungsvermögen bedingt ist. Beim Uebergang in das erste Mittel nimmt der Strahl seine frühere Richtung wieder an.

Stellen wir uns vor, dieses Mittel sei das Vacuum, und die Platte bestehe aus drei Schichten, nämlich aus Luft, Wasser und Glas. Bezeichnen wir mit L den Brechungsindex beim Uebergang aus dem leeren in das erste Mittel, mit l den Index beim Uebergang aus der Luft in das Wasser, mit l_2 den Index beim Uebergang aus dem Wasser in das Glas und mit L' den Index aus dem Vacuum in das Glas.

Wir haben die Gleichungen

$$\sin i = L \sin r$$
$$\sin r = l_1 \sin r_1$$
$$\sin r_1 = l_2 \sin r_2$$
$$\sin r_2 = \frac{1}{L'} \sin e$$

Durch Multiplication dieser Gleichungen Glied für Glied und Berücksichtigung der gemeinsamen Factoren erhält man daraus

$$\sin i = L\, l_1\, l_2 \frac{1}{L'} \sin e.$$

Der Versuch zeigt aber, daß der austretende Strahl in Folge des Parallelismus der Flächen parallel mit dem einfallenden ist: $e = i$, daher

$$L' = L\, l_1\, l_2.$$

Wenn die Platte nur aus zwei Schichten, z. B. nur aus Luft und Wasser gebildet wäre, so hätte man das Verhältniß $L' = L\, l_1$.

Hauptindex. Die Quantitäten L und L' bezüglich des Uebergangs aus dem Vacuum in die verschiedenen Mittel heißen **Hauptindex**; sie sind von der Natur der Mittel abhängig.

Der Hauptindex einer Substanz kann erhalten werden, wenn man die Refraction dieser Substanz bezüglich der Luft beobachtet und den erhaltenen Index mit dem Hauptindex der Luft multiplicirt.

258. Messen des Brechungsindex. Das Messen der Constanten l_1 L läßt sich auf die der Ablenkung reduciren, die ein Licht-

strahl bei seinem Durchgange durch ein Prisma von bekannten Winkeln erleidet.

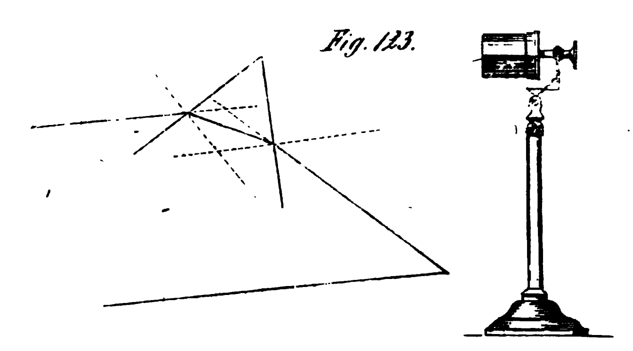
Die Brechung des Index ist unabhängig von dem Einfallswinkel in zwei Fällen: 1) wenn der Lichtstrahl normal zu der Einfallsebene ist, 2) wenn die Richtung des gebrochenen Strahles im Innern des Prismas perpendicular zur Bisectorfläche seines Winkels ist.

Der Werth der Ablenkung ist in dem letztern Falle Minimum.

Er läßt sich leicht bestimmen, wenn man ein Prisma in den leuchtenden Punkt und das Auge bringt und das Prisma langsam dreht, bis das Bild, welches anfänglich dem Gegenstand genähert ist, stationär zu sein scheint, ehe es sich von Neuem entfernt. Das Prisma wird in dieser Lage befestigt und der Winkel des austretenden Strahles und des auffallenden Strahles mit Hülfe des Repetitors (Fig. 123) gemessen. δ sei dieser Winkel, α der Winkel des Prismas, so giebt die Formel:

$$\frac{\sin \frac{1}{2}(\alpha + \delta)}{\sin \frac{1}{2}\alpha} = 1$$

den Refractionsindex an.

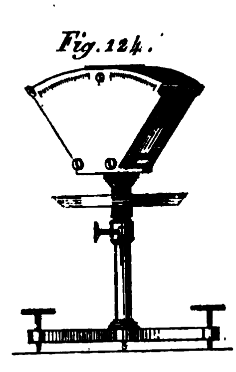

Fig. 123.

Wenn α variirt, so variirt δ gleichfalls und in dem nämlichen Sinne; dem Winkel des Prismas wird deßhalb der Name Brechungswinkel gegeben.

Was im Vorhergehenden gesagt worden ist, gilt auch von dem Brechungsindex einer jeden durchsichtigen Substanz.

Ist die Substanz fest, so schneidet man zwei geneigte Ebenen vollkommen eben und polirt sie. Zur Bestimmung der Brechungsverhältnisse tropfbar flüssiger Körper schließt man dieselben in

Hohlprismen ein, deren brechende Flächen durch Spiegelplatten gebildet sind (Fig. 124). Diese Platten sind auf die Richtung der Strahlen ohne Einfluß; die beobachtete Ablenkung rührt einzig und allein von dem Flüssigkeitsprisma her.


Fig. 124.

Da das Brechungsvermögen der Gase weit schwächer als das der festen Körper und der Flüssigkeiten ist, so kann man nur durch bedeutende Vergrößerung des Brechungswinkels eine einigermaßen merkliche Ablenkung erhalten.

Das bei den Versuchen von Biot und Arago angewendete Prisma besteht aus zwei Glasplatten mit parallelen Flächen, die an den beiden Enden eines Glasrohres angebracht sind, das schief abgeschliffen ist, so daß die Glasplatten einen Winkel von 143° 7′ 28″ mit einander bilden.

Zweiundzwanzigstes Kapitel.

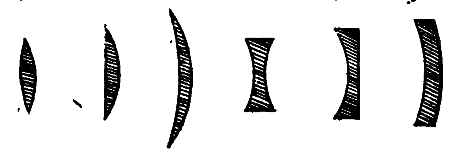
Von den Linsen.

259. Brechende Mittel mit gekrümmten Flächen. Wenn die Fläche, welche die gemeinsame Grenze beider Mittel bildet, gekrümmt ist, so geschieht die Brechung im Einfallspunkte wie auf einer ebenen Fläche, welche die zu diesem Punkte gehörige Tangente ausmacht. Die Wirkung eines durch zwei gekrümmte Flächen eingeschlossenen brechenden Mittels bezüglich der Veränderung der Richtung der Strahlen und der Gruppirung derselben zu einem Lichtbündel läßt sich demnach einer unendliche Zahl von Prismen vergleichen, die nach einem bestimmten Gesetz vereinigt sind. Diese Wirkung läßt sich anwenden, um Strahlen, die von einem Punkte aus divergiren, convergirend, oder noch mehr divergirend zu machen. Die verschiedenen Formen von Gläsern, durch welche dies erreicht werden soll, umfaßt man unter dem gemeinschaftlichen Namen Linsen.

Die sphärischen Linsen bestehen aus einem brechenden Mittel, gewöhnlich aus Glas, das durch zwei gekrümmte sphärische Flächen begrenzt ist. Man unterscheidet folgende Hauptformen der Linsen

I. Sammellinsen oder convergirende Linsen sind am am Rande dünner als in der Mitte:

a) Biconvexe Linsen (Fig. 125).
b) Planconvexe Linsen (Fig. 126).
c) Concav-convexe Linsen oder Menisken (Fig. 127).



II. Zerstreuungslinsen oder divergirende Linsen sind in der Mitte dünner als am Rande:
a) Biconcave Linsen (Fig. 128).
b) Planconcave Linsen (Fig. 129).
c) Convex-concave Linsen (Fig. 130).

260. Biconvexe Linsen. Die Figur 131 zeigt uns einen Querdurchschnitt der Linse. P ist ein in der Axe gelegener leuchtender



Punkt, C und C′ die Mittelpunkte beider Sphären, C′M und CN die Normalen des Einfalls- und Austrittspunktes, PMNP der Weg des Lichtstrahles außerhalb und innerhalb der Linse.

Bezeichnen wir mit x und y den Einfalls- und den Brechungswinkel beim Eintritt, mit x′ und y′ den Refractions- und Einfallswinkel beim Austritt, mit den Buchstaben der Scheitel die übrigen Winkel, so haben wir

$$y + y' = 180^0 - H = C + C' \qquad (1)$$
$$x + y + x' - y' = 180^0 - S = P + P' \qquad (2).$$

Ist der Winkel P sehr klein, entfernt sich das von dem leuchtenden Punkte ausgehende Strahlenbündel nur wenig von der Axe, so sind die verschiedenen Winkel, welche in die Verhältnisse (1) und (2) eintreten, sehr klein, und den Beziehungen der Brechung: $\sin x = l \sin y$, $\sin x' = l \sin y'$ kann man die einfacheren Beziehungen $x = l\,y$, $x' = l\,y'$ substituiren.

Die Werthe von x und von x′ in die Gleichung (2) gebracht, geben bei Berücksichtigung der Gleichung (1)

$$(l-1)\ (C+C') = P + P'. \qquad (3)$$

Diese Beziehung zwischen den Winkeln läßt sich in eine Beziehung zwischen den Entfernungen umwandeln, wenn man beobachtet, daß genau

$$C = \frac{AN}{R},\ C' = \frac{A'M}{R'},$$

ist;

$$P = \frac{A'M}{p},\ P' = \frac{AN}{p'},$$

annähernd und nur in dem Falle, in welchem die Strahlen sich nur wenig von der Axe entfernen.

Setzt man ferner A′M = AN, was sich im Falle einer Linse von geringer Dicke annehmen läßt, so hat man:

$$(l-1)\ \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R'}\right) = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}; \qquad (4)$$

p′, p sind die Entfernungen AP′, A′P, R, R′ die Strahlen der beiden sphärischen Flächen.

Diese Formel ist unabhängig von der Richtung der leuchtenden Strahlen zu der Axe; sie zeigt, daß Strahlen, in einem sehr engen Bündel begriffen, nach ihrer Brechung in der Linse, alle in einem Punkte der Axe convergiren.

Die in einem mit der Axe parallelen, sehr dünnen Bündel begriffenen Strahlen vereinigen sich nach ihrer Brechung in einem Punkte, den man den Hauptbrennpunkt der Linse nennt. Die Entfernung dieses Punktes von der Austrittsfläche wird durch die Formel (4) gegeben. Setzt man $p = \infty$, $p' = f$, so wird

$$\frac{1}{f} = (l-1)\ \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R'}\right). \qquad (5)$$

Das Zeichen dieses Ausdruckes characterisirt eine Linse; ist es positiv, so giebt es die Convergenz an; ist es dagegen negativ, so zeigt es die Divergenz an. Die absolute Größe von $\frac{1}{f}$ bestimmt den Grad der Größe dieser beiden Effecte; je größer $\frac{1}{f}$ ist, desto stärker ist die Convergenz. Es folgt dies aus der nachstehenden Betrachtung.

Substituirt man in der Formel den Werth des zweiten Gliedes, so hat man:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f}. \qquad (6)$$

Diese Formel, welche der Formel der Nebenbrennpunkte durch Reflexion (Seite 191) ähnlich ist, zeigt, daß die beiden Brennpunkte auf beiden Seiten der Linse sind, so lange $p > f$; die durch die Linse gebrochnen Lichtstrahlen convergiren in dem wirklichen oder physischen Brennpunkte.

Dieser Punkt liegt zwischen f und $2f$ für alle Werthe von p, die zwischen ∞ und $2f$ liegen; für die Werthe von p die von $2f$ auf ∞ über.

Wird $p < f$, so ist p' negativ und die Strahlen laufen nicht mehr zusammen, sondern divergiren von einem Punkte, den man den virtuellen Brennpunkt nennt; er liegt auf der Seite des leuchtenden Punktes. Von der Linse ist er entfernter als der leuchtende Punkt, wie es aus der folgenden Formel hervorgeht

$$\frac{1}{p} = \frac{1}{p'} + \frac{1}{f}; \qquad (7)$$

261. Planconvexe Linsen; Menisken. Die Formel für die planconvexen Linsen deducirt sich aus den vorstehenden, wenn man $R' = \infty$ setzt; sie läßt sich direct feststellen und man findet:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = (l-1)\,\frac{1}{R}. \qquad (8)$$

Der Werth von $\frac{1}{f} = (l-1)\,\frac{1}{R}$ ist kleiner als der Werth $\frac{1}{f}$ der Formel (6).

Die Formel der Menisken wird erhalten, wenn man einem der Strahlen der Curve in der Formel (4) das Zeichen — giebt:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = (l-1)\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{R'}\right). \qquad (9)$$

Die allgemeinen Effecte der Linse sind dieselben wie die der vorstehenden Formeln, so lange $R' > R$; die Brennweite ist größer als bei den erstern Linsen.

262. Zerstreuungslinsen. Die Formel

$$\frac{1}{p} - \frac{1}{p'} = (1-l)\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{R'}\right) \qquad (10)$$

welche man erhält, wenn man die Zeichen der beiden Strahlen und das Zeichen von p' in der Formel (4) wechselt, ist die Formel der biconcaven Gläser

Setzt man $R' = \infty$, so hat man die Formel der planconcaven Linsen.

Die der convex-concaven Linsen erhält man, wenn man R' negativ und zwar größer als R nimmt.

Diese drei Formeln führen zu denselben Schlüssen: p' kann

niemals sein Zeichen ändern und ist immer kleiner als p; die Punkte P und P' sind auf der nämlichen Seite der Linse; die Strahlen, welche aus der Linse austreten, bilden einen Kegel, der mehr geöffnet als der Kegel der einfallenden Strahlen ist, sie divergiren stets.

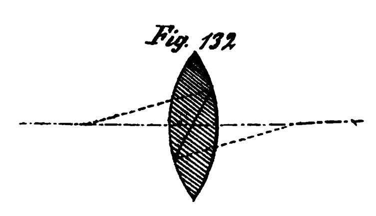
Man kann jedoch den Fall unterscheiden, in welchem die einfallenden Strahlen gegen einen Punkt der Axe convergiren; es ist dies bei Strahlen der Fall, die von einem Spiegel ausgehen oder durch eine convergirende Linse gegangen sind.

Die für diesen Fall passende Formel wird erhalten, indem man das Zeichen von p in der Formel (10) wechselt; sie wird sein:

$$-\frac{1}{p}-\frac{1}{p'}=(1-l)\left(\frac{1}{R}+\frac{1}{R'}\right)=-\frac{1}{f}.$$

Die Strahlen fahren so lange fort zu convergiren, als $p<f$; sie werden auch um so viel divergiren als p größer ist als f.

263. Optischer Mittelpunkt. Wenn man durch die Mittelpunkte der Kugeln, welche die Linse begrenzen zwei Parallelen CM, C'M' (Fig. 132) zieht und durch eine Gerade die Punkte M, M', wo sie die Oberfläche schneiden, berührt, so schneidet die Verbindungslinie die Axe in einem Punkte O, für welchen man hat:



$$CO:C'O=CM:C'M'$$
$$=CA:C'A;$$

woraus

$$AO:A'O=R:R' \text{ und } AO:AA'=R:R+R' \quad (a)$$

Der Punkt O ist also ein bestimmter und wird optischer Mittelpunkt genannt.

In den biconvexen oder biconcaven Linsen ist der optische Mittelpunkt innerhalb; seine Entfernung zu einem der Scheitel wird durch die Gleichung (a) bestimmt.

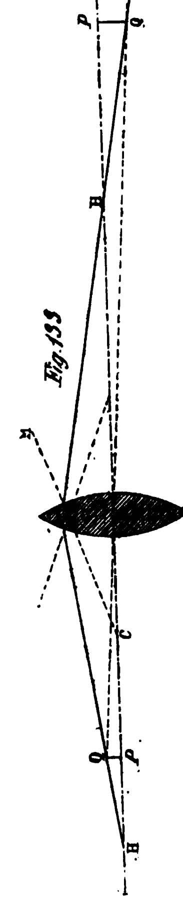
In den planconvexen und planconcaven Linsen fällt er mit dem Scheitel der Linse zusammen, was man findet, indem man in der Gleichung (a) $R'=\infty$ setzt.

In den convex-concaven Linsen oder Menisken liegt der optische Mittelpunkt außerhalb.

Irgend eine Gerade MM', welche durch den optischen Mittelpunkt geführt wird, beschreibt auf den Flächen der Linsen zwei

parallele ebene Elemente. Wenn ein Lichtstrahl die Richtung MM' verfolgt, so wird er keine Ablenkung erleiden und der ursprünglichen Richtung parallel austreten.

264. Secundäre Axen oder Nebenaxen. Ist die Linse nur von geringer Dicke, so fallen die Einfallslinie und die Ausfallslinie ziemlich zusammen und unterscheiden sich nur durch eine Linie von einander, die man die secundäre Axe nennt und durch den optischen Mittelpunkt und einem außerhalb der Axe liegenden leuchtenden Punkt geführt ist; in dieser Axe liegt der Punkt, in welchem die von dem leuchtenden Punkte ausgegangenen Strahlen nach dem Durchgange durch die Linse convergiren.



Die Formel der secundären Brennpunkte ist der der Hauptbrennpunkte ähnlich.

Formel der secundären Brennpunkte. Ist Q (Fig. 133) der außerhalb der Axe liegende leuchtende Punkt, QO die zu diesem Punkte gehörige secundäre Axe, QM ein einfallender Strahl, M'Q' der entsprechende ausfallende Strahl, so findet man:

$$H + H' = Q + Q';$$

übrigens ist nach den Gleichungen (1) und (2) Seite 203 und 204)

$$H + H' = (l-1)(C + C')$$

woraus

$$Q + Q' = (l-1)(C + C').$$

Ersetzt man die Winkel C, C', Q, Q' durch die Inversen $\frac{1}{R}$, $\frac{1}{R'}$, $\frac{1}{q}$, $\frac{1}{q'}$, welche denselben genau oder approximativ proportional sind, so hat man:

$$\frac{1}{q} + \frac{1}{q'}\ (l-1)\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R'}\right). \qquad (6)$$

Die Brennpunkte haben demnach auf der secundären Axe dieselbe Lage wie die Hauptbrennpunkte auf der Hauptaxe.

Der Ort aller dieser Brennpunkte von Punkten, die von einem vor der Linse befindlichen leuchtenden Gegenstand ausgehen, erzeugt das Bild dieses Gegenstandes.

265. Bilder durch Brechung. Ist der Gegenstand eine kleine leuchtende, zur Axe perpendiculare Ebene, so wird das Bild ebenfalls nach der Formel (6) eben und perpendicular zur Axe und die Dreiecke OPQ und OP'Q' geben:

$$\frac{\text{Bild}}{\text{Gegenstand}} = \frac{p'}{p} = \frac{f}{p-f}.$$

Diese Gleichung zeigt, daß das Bild in Bezug auf den Gegenstand um so kleiner sein muß, je mehr dieser Gegenstand entfernt ist, und daß es immer um den ganzen Werth, den p größer ist als 2f. Das Bild erscheint außerdem verkehrt und liegt zwischen dem Hauptbrennpunkt und einem Punkte, der von der Linse um 2f entfernt liegt.

$p = 2f$, $p' = 2f$; das Bild erscheint aufrecht und gleich dem Gegenstande. $p < 2f$ und $> f$; das Bild erscheint stets aufrecht und größer als der Gegenstand; es ist umgekehrt und entfernt sich schnell unter Vergrößerung von der Linse, in dem Maße als p sich f nähert; für $p = f$ ist das Bild unendlich groß.

Diese Variationen der Größe in Verbindung mit passender Beleuchtung erzeugen die Nebelbilder und die Bilder der Zauberlaterne (laterna magica).

Bei dem Sonnenmikroskop bringt man den Gegenstand in geringe Entfernung von der Linse; das Bild des Gegenstandes erscheint auf einer entfernten Fläche. Der Gegenstand muß lebhaft beleuchtet sein, damit die Details des Bildes hinlänglich scharf und deutlich zum Vorschein kommen. Zu diesem Zwecke wendet man nun Sonnenstrahlen an, die durch eine Sammellinse concentrirt worden sind. Bei dem Hydro-Oxygenmikroskop (Gasmikroskop) benutzt man zu gleichem Zwecke das Licht, welches sich bildet, wenn man die Flamme eines Gemenges von Sauerstoffgas und Wasserstoffgas auf einen Cylinder von Kalk leitet.

Lupen. Ist $p < f$, so ist das Bild virtuell und aufrecht wie bei den divergirenden Linsen (Fig. 134); bei diesen ist aber das

Fig. 134.

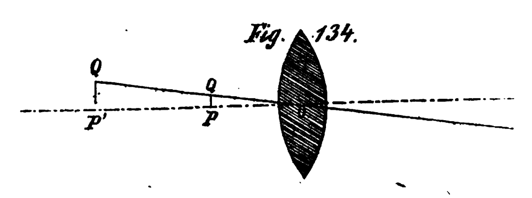


Bild dem Auge genähert und verkleinert, bei den andern dagegen ist es entfetnt und verkleinert.

Bei der Lupe oder dem einfachen Mikroskope, das in der That nichts Anderes als ein convergirendes Glas ist, wird die Entfernung p' durch die Beschaffenheit des Sehorgans bestimmt.

Bringt man eine Lupe ganz nahe an das Auge, so ist p' ungefähr die Weite des deutlichen Sehens, die bei einem gesunden Auge ziemlich 30 Centimeter beträgt.

Das Object muß demnach in eine Entfernung p von der Linse gebracht werden, welche durch folgende Gleichung bestimmt wird:

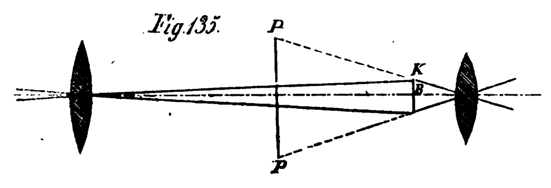
$$\frac{1}{p} - \frac{1}{D} = \frac{1}{f};$$

D ist die Entfernung des deutlichen Sehens.

Die Vergrößerung $\frac{p}{p'} = \frac{D}{f} + 1$, aus der vorstehenden Formel deducirt, ist bei übrigens gleichen Bedingungen um so größer, je kleiner f ist.

Brillen. Dieselbe Formel gilt für $D\frac{1}{f} = (l - 1)\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R'}\right)$, wenn p einen bestimmten Werth hat. Bei den Kurzsichtigen und Weitsichtigen erhält das Auge nur einen undeutlichen Eindruck durch die Lichtstrahlen, welche auf die gewöhnliche Weise divergiren. Die ersteren bedürfen einer geringeren, die letzteren einer größeren Divergenz. Die ersteren müssen demnach convergirende Gläser, die letzteren dagegen divergirende Gläser anwenden, um die in der Entfernung des gewöhnlichen deutlichen Sehens befindlichen Gegenstände wahrnehmen zu können.

266. Das astronomische Fernrohr besteht im Allgemeinen aus zwei Sammellinsen (Fig. 135). Die eine derselben, das Ob-

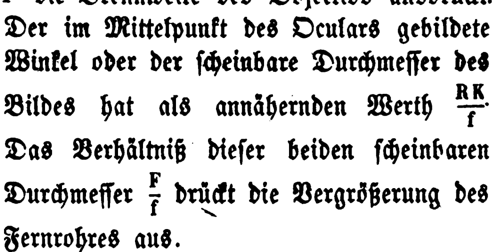


jectiv genannt, empfängt die von den Gegenständen ausgehenden Strahlen und sammelt dieselben zu einem Bild; die andere Linse, das Ocular genannt, bricht die im Focus des Objectivs gesammelten Strahlen und zerstreut sie zu einem virtuellen Bilde, das sich in der Weite des deutlichen Sehens befindet. Das von dem

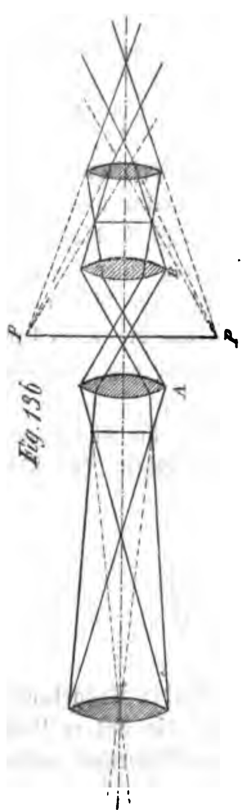
Objectiv erzeugte Bild muß demnach zwischen das Ocular und den Hauptbrennpunkt desselben fallen; es ist verkehrt und stets kleiner als der Gegenstand, der, da es klein ist, sich in einer Entfernung von dieser Linse befindet, die größer ist als 2 f.

Vergrößerung. Unter dem scheinbaren Durchmesser eines Gegenstandes versteht man den Winkel, unter welchem man diesen Gegenstand sieht. Für Punkte, welche von der Erdoberfläche nur wenig entfernt sind, bleibt der scheinbare Durchmesser eines Gestirnes fast unverändert; er läßt sich als gleich dem Winkel betrachten, der im optischen Mittelpunkt des Objectivs durch die äußersten Strahlen des Gestirnes gebildet wird.

Daraus folgt, daß dieser Winkel annähernd durch $\frac{RK}{F}$ (Fig. 135) ermittelt wird, wobei F die Brennweite des Objectivs ausdrückt.



Der im Mittelpunkt des Oculars gebildete Winkel oder der scheinbare Durchmesser des Bildes hat als annähernden Werth $\frac{RK}{f}$. Das Verhältniß dieser beiden scheinbaren Durchmesser $\frac{F}{f}$ drückt die Vergrößerung des Fernrohres aus.



267. Das terrestrische Fernrohr besteht eben so wie das astronomische Fernrohr aus einem Objectiv und einem Ocular, zwischen welche man, um das Bild umzukehren, zwei Sammellinsen A und B (Fig. 136) setzt. Die durch das Objectiv gegangenen Strahlen bilden ihren Brennpunkt vor der Linse A und in einer Entfernung von dieser Linse, welche der Brennweite derselben gleich ist. Die Linse A empfängt diese Strahlen und refractirt sie auf die Linse B, welche dieselben in ihrem Hauptbrennpunkte in geeigneter Entfernung von dem Ocular vereinigt. Die Prüfung der Figur und des Ganges der Strahlen zeigt, daß das Bild in Bezug auf den Gegenstand gerade sein muß.

268. In Galilei's Teleskop, das als Theaterperspectiv häufige Anwendung findet,

ist das Ocular biconcav (Fig. 137), das Objectiv eine Sammellinse. Die durch das Objectiv kommenden Strahlen fallen auf das Ocular,

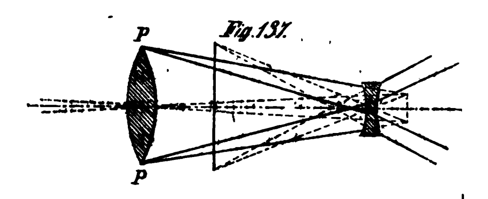
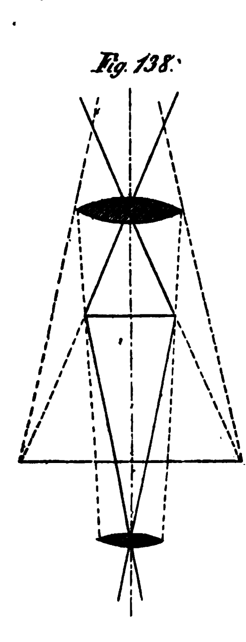


Fig. 137.

ehe sie sich zu einem Bilde vereinigt haben, convergirend und werden durch das Concavglas parallel in's Auge gelegt. Die Entfernung der beiden Gläser muß in demselben Sinne variiren als die Sehweite.


Fig. 138.

269. Zusammengesetztes Mikroskop. Die Mikroskope bestehen im Allgemeinen aus zwei Sammellinsen, von denen die eine die Objectivlinse dem Objectiv zugewendet ist (Fig. 138), das sich etwas außerhalb der Brennweite befindet und stark erleuchtet ist. Das vergrößerte Bild entsteht zwischen dem Ocular und dem Hauptbrennpunkt desselben. Die Stelle, an welcher dieses Bild erscheint, muß so beschaffen sein, daß die von dem Ocular sich ausbreitenden Strahlen den zur gewünschten Deutlichkeit erforderlichen Grad von Divergenz haben.

270. Sphärische Abweichung. Die bei der Berechnung der Formel:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = (l-1)\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R'}\right)$$

zu Grunde gelegten Bedingungen der Approximation werden nur selten erfüllt. Die verschiedenen brechenden Ringe, aus denen die Linse besteht, haben ihre Brennpunkte in verschiedenen Punkten der Axe, und in den convergirenden Gläsern bewirken die äußeren Schichten eine größere Convergenz nach dem Scheitel der Linse zu, als es bei den mittleren Theilen der Linse der Fall ist.

Durch das Aufeinanderlagern dieser Bilder entsteht ein Ver-

schwimmen derselben, das man dadurch vermindern kann, daß man die Lichtstrahlen, welche auf den Rand der Linse fallen, durch undurchsichtige Diaphragmen mit centraler Oeffnung auffängt. Das einzige wirksame Mittel, die sphärische Abweichung oder die Abweichung von der Kugelgestalt aufzuheben, besteht darin, aus Ringen zusammengesetzte Linsen anzuwenden. Fresnel hat derartige Linsen construirt, mit Hülfe deren man das Licht der Leuchtthürme auf viele Meilen weit in das Meer hinauswerfen kann.

Dreiundzwanzigstes Kapitel.

Von der Zerstreuung des Lichts.

271. Ungleiche Brechbarkeit. — 272. Sonnenspectrum. — 273. Frauenhofer'sche Linien. — 274. Zerlegung der Farben. — 275. Erzeugung von weißem Lichte. — 276. Newtons empirische Regel. — 277. Irisirende Streifen.

271. Ungleiche Brechbarkeit. Alles, was in dem Vorstehenden in Bezug auf die Brechungsverhältnisse des Lichtes gesagt worden ist, bezieht sich nur auf einfarbige Strahlen. Wenn verschiedenartig gefärbte Strahlen durch brechende Mittel gehen, so erleiden diese Strahlen verschiedene Brechungen. Newton hat diese Ungleichheit in der Brechung durch folgende Versuche gezeigt.

1. Man nimmt ein viereckiges Stück Papier, das auf der einen Seite geschwärzt ist, theilt auf der andern Seite die Oberfläche durch eine perpendiculare Linie in zwei gleiche Theile und mahlt den einen dieser Theile blau, den andern roth. Diese gefärbte Fläche wird horizontal vor ein Fenster gebracht, durch welches Strahlen von den Wolken auf die Fläche fallen; letztere befindet sich auf einem breiten Stück schwarzen Tuches, das die Reflexionen der weißen Lichtstrahlen verhindert. Man betrachtet darauf die Fläche durch ein Prisma, dessen Kante der Länge der Fläche parallel ist.

Wenn man die Kante des Prismas nach Oben dreht, so daß das Bild sich in Folge von Refraction erhebt, so scheint die blaue Hälfte weit höher zu sein, als die rothe. Das Gegentheil findet statt, wenn man das Prisma herumdreht. Daraus geht hervor, daß die rothen Strahlen weniger gebrochen werden, als die blauen.

Dieser Versuch wird auch durch die folgenden bestätigt.

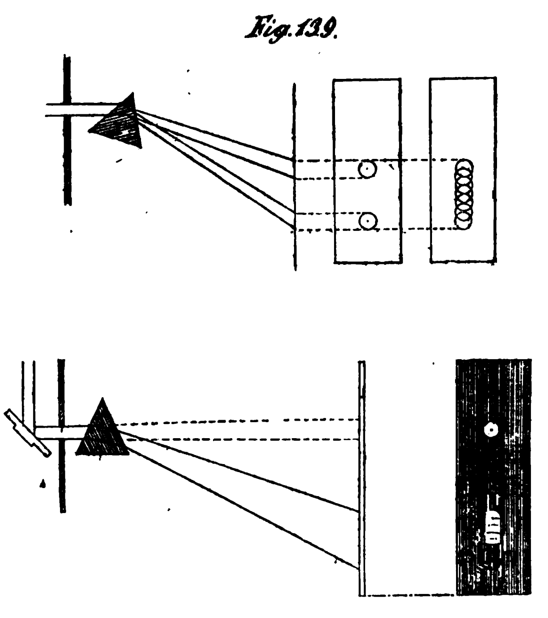
2. Um das Viereck des vorigen Versuches bringt man mehrere Fäden von schwarzer Seide, und stellt dasselbe einige Centimeter

außerhalb des Hauptbrennpunktes einer Sammelinse, so, daß die Trennungslinie der Farben vertikal zu stehen kommt. Nachdem die gefärbte Fläche gehörig beleuchtet worden ist, bestimmt man mit Hülfe eines auf der andern Seite der Linse befindlichen Schirmes den Ort, an welchem das Bild am deutlichsten zu sehen ist. Da nun eine der Hälften deutlich hervortritt, während die andere verschwimmt und der Brennpunkt des blauen Bildes der Linse beträchtlich näher liegt als der Brennpunkt des rothen Bildes, so kann man aus diesem Versuche ebenfalls den Schluß ziehen, daß bei gleichem Einfalle der Strahlen die blauen Strahlen stärker gebrochen werden als die rothen.

272. Sonnenspectrum. In der ungleichen Brechbarkeit der Lichtstrahlen hat man ein Mittel, leuchtende Strahlen zu analysiren und dieselben zu prüfen, ob sie einfach oder zusammengesetzt sind.

Wenn man ein Lichtbündel durch den Laden eines dunklen Zimmers auf ein Prisma (Fig. 139) fallen läßt, so bemerkt man, daß das gebrochene Licht weder rund noch elliptisch ist, sondern daß ein

Fig. 139.



in die Länge gezogenes Farbenbild (Spectrum) entsteht, dessen Länge von dem brechenden Winkel des Strahles und von der brechen-

den Substanz des Prismas abhängt. Ist das Prisma rein, so sind die Seitencontouren des Spectrums scharf, die beiden äußersten Enden dagegen zeigen nur eine unbestimmte Grenze. Im Spectrum selbst unterscheidet man folgende sieben Hauptfarben, welche in der Ordnung der abnehmenden Brechbarkeit auf einander folgen:

Violett, Indig, Blau, Grün, Gelb, Orange, Roth.

Diese Farben theilen sich aber nicht gleichmäßig in die ganze Länge des Spectrums. Theilt man die ganze Länge in 360 Th., so sind ungefähr 109 Th. vom Violett, 95 Th. vom Blau, 46 Th. vom Grün, 27 Th. vom Gelb, 27 Th. vom Orange und 56 Th. vom Roth eingenommen. Die Grenzen der einzelnen Farben lassen sich nicht mit Genauigkeit angeben, die Farben gehen vielmehr in Nüancen in einander über.

Ein jeder der homogenen Lichtstrahlen hat seine eigene Brechbarkeit und seine eigenthümliche Farbe, welche er auch beibehält, wenn er auf irgend eine Weise gebrochen wird. Man erkennt dies, indem man Strahlen von derselben Farbe, welche durch einmalige Brechung von andern gefärbten Strahlen getrennt worden sind, durch ein zweites Prisma gehen läßt. Diese Strahlen, die man durch eine kleine, in einer Tafel befindliche Oeffnung fallen läßt, um sie von den andern Strahlen des Spectrums zu trennen, werden gebrochen und erzeugen auf einem Schirme ein gefärbtes Bild der Oeffnung. Dieses Bild erscheint roth, wenn die durch die Oeffnung fallenden Strahlen dem rothen Theil des Spectrums entsprechen, grün, wenn diese Strahlen grün sind u. s. f.

Daraus läßt sich schließen, daß das in das dunkle Zimmer fallende Strahlenbündel fein und dünn sein muß, denn wäre es breit, so müßte das erhaltene Bild sich durch ein schärferes Spectrum verlängern.

Zwei Ursachen schaden der Deutlichkeit der secundären Bilder und folglich auch der Reinheit des Hauptspectrums. Diese beiden Ursachen sind:

1) die Breite des einfallenden Bündels;

2) die Größe des scheinbaren Sonnendurchmessers.

In Folge der erstgenannten Ursache ist das erhaltene Spectrum ein Gemenge von Farbenbildern, welche durch einen jeden der Licht-

strahlen erzeugt werden, aus welchen das Lichtbündel besteht. Die äußersten Farben allein sind rein.

Die Wirkung der zweiten Ursache ist ziemlich dieselbe. Eine jede der Farben erzeugt auf dem Schirme eine Ellipse, deren kleine Axe den anscheinenden Durchmesser der Sonne hat. Diese Ellipsen greifen in einander ein und man erhält anstatt eines deutlichen reinen Spectrums ein Spectrum, dessen Färbungen durch die Uebereinanderlegung der Schichten undeutlich geworden sind.

Diesem Uebelstande läßt sich dadurch abhelfen, daß man das durch die Oeffnung im Laden gegangene Licht durch einen zweiten Schirm gehen läßt, in welchem sich eine kleine Oeffnung befindet, oder, daß man anstatt des directen Sonnenlichtes die von dem Sonnenlicht, das sich im Brennpunkte einer Linse mit nahem Brennpunkte erzeugt hat, ausgehenden Strahlen anwendet. Die so erhaltene Lichtquelle ist, obgleich einem mathematischen Punkte vergleichbar, glänzend und lebhaft. Das durch sie erzeugte Spectrum hat weniger Glanz als das gewöhnliche Spectrum, es ist aber rein und die durch die homogenen Strahlen erzeugten secundären Spectren erscheinen als deutlich begrenzte gefärbte Flecken.

273. Frauenhofer'sche Linien. Wenn das Prisma sehr rein ist, so findet man, daß alle Theile desselben mit schwarzen Linien von größerer oder geringerer Breite durchschnitten sind, welche mit der brechenden Kante des Prismas parallel laufen. Sie sind für jede Farbe in einer bestimmten Anzahl vorhanden und ihre Entfernungen von einander sind für Prismen von derselben Substanz unveränderlich. Durch ihre Entfernung oder Annäherung, die in einer Substanz im Vergleich zu einer andern stattfindet, hat man ein Mittel, die Zerstreuungsvermögen dieser Substanzen zu bestimmen. Diese Linien werden Frauenhofer'sche Linien genannt.

274. Zerlegung der Farben. Die Farben des Spectrums, die man auch Regenbogenfarben, prismatische Farben, einfache Farben nennt, geben, indem sie sich in verschiedenen Verhältnissen mischen, die verschiedenen Farben. Bringt man z. B. rothe Strahlen und gelbe Strahlen über einander, so erhält man ein Orange, welches dem Orange des Spectrums sehr ähnlich, aber ungleich weniger stabil ist; wenn man dieses Orange durch ein Prisma betrachtet, so löst es sich in die beiden einfachen Farben auf. Dasselbe geschieht mit allen zusammengesetzten Farben.

275. Erzeugung von weißem Licht. Das weiße Licht entsteht durch Mischen der einfachen Farben in den erforderlichen Verhältnissen. Dies kann auf folgende Weise nachgewiesen werden.

Wenn man das Spectrum mit einer Linse auffängt, so werden die verschiedenartig gefärbten Strahlen in einem Punkte vereinigt; wenn man nun in diesem Punkte das Sonnenlicht auf einem Papierschirm auffängt, so entsteht ein weißes Bild.

Wenn man vor der Vereinigung der Strahlen durch das Spectrum eine oder mehrere derselben entfernt, so wird das Bild nicht weiß, sondern erscheint gleichförmig gefärbt.

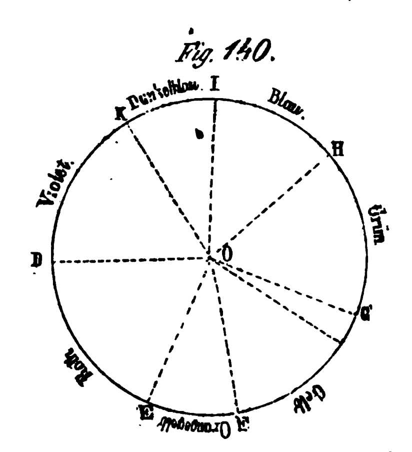
Durch Mischen von gefärbten Pulvern in geeigneten Verhältnissen läßt sich ebenfalls Weiß erhalten; diesem Weiß ist aber Schwarz beigemengt.

Drehung einer gefärbten Scheibe. Dieselbe graue Färbung ist auch wahrzunehmen, wenn man einen Kreis aus Pappe, der in sieben mit den Regenbogenfarben bemalte Sectoren eingetheilt ist, schnell dreht. Geschieht das Drehen so schnell, daß während der Dauer eines Lichteindruckes die verschiedenen Sectoren nach einander ihre Bilder auf derselben Stelle der Netzhaut erzeugen, so wird in dem Auge der Eindruck von weißem Licht hervorgebracht. Da man aber nie die Nüancen der Farben so genau trifft, wie sie in dem Spectrum enthalten sind, so erscheint der Kreis beim Drehen nie weiß, sondern grau.

Die Sectoren oder die Bogen, welche ihnen entsprechen, müssen den Seite 215 angeführten Zahlen proportional sein, welche die sieben Farben des Spectrums repräsentiren. Stellt man sich vor, daß sie aus einem Sector in den andern mit derselben Intensität und derselben Nüance, die sie in dem Spectrum besitzen, übergehen, so bildet der Kreis die ununterbrochene Folge der Regenbogenfarben.

276. Empirische Regel von Newton. Dieselbe Regel kann auch dazu dienen, die Nüance und die Farbe eines zusammengesetzten Lichts zu bestimmen, wenn man die Componenten und die Intensitäten derselben kennt.

Von einem Punkt O, den man als Mittelpunkt betrachtet, aus, beschreibt man mit Hülfe eines Strahles, den man = i setzt, eine Peripherie (Fig. 140), welche man in sieben Theile theilt, die den sieben Regenbogenfarben entsprechen.



Die Schwerpunkte dieser Bogen werden bestimmt, indem man an dieselben Gewichte befestigt annimmt, die den Intensitäten der Farben, die man zersetzen will, proportional sind. Darauf sucht man den allen diesen Gewichten gemeinschaftlichen Schwerpunkt z und verbindet ihn mit dem Mittelpunkt des Kreises. Der Bogen, der durch die Linie Oz geschnitten wird, giebt die Farbe der Mischung an, die Länge Oz die Intensität dieser Farbe.

Fällt z. B. der Durchschnittspunkt y in die Mitte von FG, so ist die resultirende Farbe Gelb, und zwar Reingelb; ist dieser Punkt näher an F als an G oder umgekehrt, so wird sich das Gelbe ins Orange oder ins Grüne neigen.

Wenn der Schwerpunkt z in die Nähe der Peripherie fällt, so wird die Färbung sehr lebhaft sein; fällt er in die Mitte des Radius, so wird die Farbe einem Gemenge von gleichen Theilen Weiß und Gelb gleichen. Ist im Allgemeinen Δ die Entfernung des Schwerpunktes vom Mittelpunkt des Kreises, so giebt Δ die Quantität Gelb, $1-\Delta$ die Quantität Weiß an. Ist $\Delta=0$, so ist Weiß die resultirende Farbe.

Das Gesetz der Aufeinanderfolge der Bögen auf der Peripherie zeigt, daß zwei Schwerpunkte sich nicht zu gleicher Zeit auf dem nämlichen Durchmesser befinden können; man zieht daraus den Schluß, daß durch Uebereinanderlegung zweier Regenbogenfarben niemals Weiß entstehen kann.

Complementäre Farben. Diejenigen Farben, welche sich mit einander zu Weiß ergänzen, nennt man complementäre Farben oder Ergänzungsfarben. Wählt man aus den Farben des Sonnenspectrums eine aus, so ist die Mischung aller übrigen die complementäre Farbe derselben. Die complementäre Farbe einer gegebenen Farbe bestimmt man nach Newtons empirischer Regel, wenn man den Mittelpunkt des Kreises mit dem Schwerpunkte dieser Farbe verbindet. Die Verlängerung dieser Verbindungslinie trifft die Peripherie an dem Bogen der Complementärfarbe.

277. Irisirende Streifen. Die Zerstreuung des Lichtes in den Mitteln, seine Wiederzusammensetzung, wenn die verschiedenen Strahlen ihre Eindrücke auf das Sehorgan schnell folgen lassen, erklärt die Erscheinung, welche ein weißes Rechteck auf schwarzem Grunde darbietet, wenn man dasselbe durch ein Prisma betrachtet, dessen Kante parallel der Länge ist.

Denkt man sich die Oberfläche dieses Rechteckes in eine große Anzahl von sehr schmalen, der Länge parallelen Streifen zerlegt, so wird ein jeder dieser Streifen ein Spectrum erzeugen, dessen Strahlen in verschiedenen Höhen in das Auge fallen. Wird die Kante des Prismas nach Oben gedreht, so kömmt das Rothe zuerst, dann das Orange und so fort bis zum Violetten. Die unendlich große Anzahl von Sonnenspectren wird, mit Ausnahme der äußern Spectren, deren Grenzfarben isolirt bleiben, ihre Eindrücke so schnell auf einander folgen lassen, daß durch das Auge ein weißer Streifen gesehen wird, der mit irisirenden Fransen besetzt ist. Die oberen Zonen endigen Oben mit Roth, die unteren Unten mit Violett.

Ist die weiße Fläche sehr ausgedehnt, wie ein breiter Schirm oder das Himmelsgewölbe, so erscheinen die irisirenden Zonen nicht mehr.

Vierundzwanzigstes Kapitel.

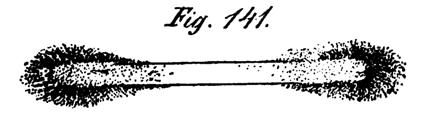
Vom Magnetismus.

278. Natürliche Magnete. — 279. Coërcitivkraft. — 280. Künstliche Magnete. Entgegengesetzte Pole. — 281. Erzeugung künstlicher Magnete. — 282. Richtung der Magnetnadel. — 283. Magnetischer Meridian. Declination. — 284. Magnetische Inclination. — 285. Einfluß der Erde. — 286. Componenten der Einwirkung der Erde. — 287. Einfluß des Erdmagnetismus auf das Eisen. — 288. Magnetische Kraft eines Magneten. — 289. Declinationsboussole. — 290. Compaß. — 291. Inclinationsboussole.

278. Natürliche Magnete. Mit diesem Namen bezeichnet man diejenigen Körper, welche schon in dem Zustande, in welchem sie sich in der Natur finden, eine magnetische Kraft besitzen. Zu diesen Körpern gehört der Magneteisenstein (Eisenoxydul-Oxyd $= Fe_3 O_4$), der sich an manchen Orten in der Natur in großen Massen findet. Dieses Mineral hat die Eigenschaft auf gewisse Körper wie Eisen, Nickel, Kobalt, Mangan, Chrom 2c. einzuwirken und sie an sich zu ziehen. Wir beschränken uns hier auf das Studium dieser Wirkung und die Erscheinungen, die sich unmittelbar daran knüpfen.

Wenn man einen Magnet in Eisenfeile wälzt, so findet man nach dem Herausnehmen, daß sich an den beiden Enden des Magneten die meiste Eisenfeile abgesetzt hat (Fig. 141). Man nennt diese Stellen die Pole des Magneten.

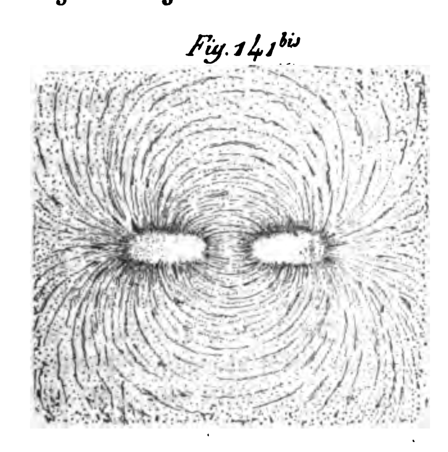
Fig. 141.



An diesen Polen befinden sich lange Fäden von Eisenfeile, die rechtwinklig auf der Oberfläche stehen.

Wenn man auf einen Magneten ein Stück Papier legt und auf das Papier Eisenfeile durch ein Sieb fallen läßt, so ordnen sich, wenn man an das Papier stößt, die Eisentheilchen in regelmäßigen Curven (Fig. 141 bis), wodurch gewissermaßen die Gestalt des Magneten abgebildet wird.

Fig. 141 bis



Um diese eigenthümliche Bewegung der Eisentheilchen zu erklären, bringe man in die Nähe des Magneten kleine eiserne Cylinder. Der erste, der an dem Magneten hängt, zieht einen zweiten Cylinder an, dieser einen dritten u. s. f. Die Anzahl der so nach einander aufgehängten Cylinder (Fig. 142) ist von der Stärke des Magneten abhängig. Der Magnetismus des Magneten entwickelt also in dem ersten Cylinder ein Attractionsvermögen, das sich von diesem Cylinder auf einen jeden der folgenden fortpflanzt.

Fig. 142.

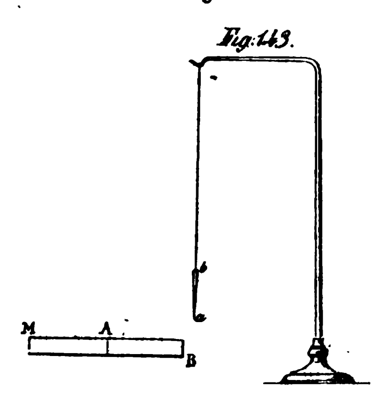
Wenn man von dem ersten Cylinder den Magneten entfernt, so kehren alle in den natürlichen Zustand zurück und hören auf auf einander zu wirken, wenn sie aus weichem Eisen bestanden. Wenn sie dagegen aus gehärtetem Eisen oder aus gehärtetem Stahl fabricirt, so behalten die Cylinder die Fähigkeit bei, anzuziehen, und sind in Magnete übergeführt worden. Der ursprüngliche Magnet hat weder etwas aufgenommen noch an seiner Kraft eingebüßt.

279. Coërcitivkraft. Der Unterschied in dem Verhalten des weichen Eisens und des gehärteten Stahles wird einer Kraft zugeschrieben, die man die Coërcitivkraft nennt. Durch diesen Namen drückt man den Widerstand aus, der sich in den magnetischen Körpern der Entwicklung des Magnetismus, sowie der Schwächung des einmal entwickelten Magnetismus entgegensetzt. Diese Kraft wird in dem Eisen durch mechanische Einwirkung, wie durch Torsion, durch Hämmern in der Kälte u. s. w. hervorgerufen. Durch Wärme wird sie vermindert, durch Kälte verstärkt. Kohle, Schwefel und

Arsenik entwickeln diese Kraft, indem sie sich mit dem Eisen verbinden, in hohem Grade.

280. Künstliche Magnete. Entgegengesetzte Pole. Künstliche Magnete sind gewöhnlich Stäbe aus gehärtetem Stahl, in welchem der Magnetismus durch eigenthümliche Methoden entwickelt worden ist. Gewöhnlich haben diese Stäbe zwei an den Enden liegende Pole.

Diese beiden Pole oder besser die beiden denselben entsprechenden Stellen des Stabes besitzen entgegengesetzte Eigenschaften. Es läßt sich dieß nachweisen, wenn man die verschiedenen Punkte des Magnetstabes von dem Ende A bis zu dem Ende B (Fig. 143) einer dünnen Magnetnadel a b nähert, die an einem biegsamen dünnen Faden aufgehängt ist. Wird das Ende a durch den Theil A M des Magneten angezogen, so wird es von B M abgestoßen; das Ende b dagegen wird von A M abgestoßen, von B M abgestoßen.



Nimmt man anstatt der Nadel einen der kleinen Cylinder des vorigen Versuchs, die von Stahl sein mögen, und nähert man einem der Enden desselben die verschiedenen Punkte der andern Cylinder, so wird man finden, daß die gleichnamigen Enden sich abstoßen, die ungleichnamigen sich anziehen.

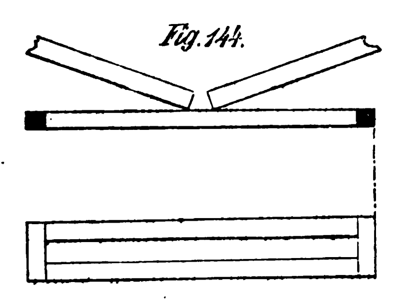
Eine jede Hälfte des Magnetstabes besitzt also einen Magnetismus, welcher dem der andern Hälfte entgegengesetzt ist. Wir werden bald sehen, daß man den einen den nördlichen Magnetismus, den andern den südlichen nennt.

281. Erzeugung künstlicher Magnete. Solchen Stoffen, die wie der gehärtete Stahl eines bleibenden Magnetismus fähig sind, läßt sich der Magnetismus durch schon fertige Magnete, theils durch strömende Elektricität mittheilen. Wir betrachten nun die erste Mittheilungsweise. Die Methode, welche am häufigsten angewendet wird, heißt die Methode des einfachen oder des doppelten Striches, je nachdem man mit einem oder gleichzeitig mit zwei magnetischen Polen streicht.

Bei der Methode des einfachen Striches gleitet man mit dem zu magnetisirenden Stabe von einem Ende desselben bis zum andern und stets in derselben Richtung über das eine Ende eines Magnetstabes oder den Pol eines Magnetsteines. Durch sieben- bis achtmal wiederholtes Streichen ist die Nadel, obwohl nur schwach, magnetisch geworden.

Wenn die Nadel lang und nicht sehr gleichmäßig ist, wenn ferner die verschiedenen Punkte derselben mit ungleicher Geschwindigkeit über den Magnet geführt worden sind, so zeigt sie häufig außer den beiden Polen an ihren Enden Zwischenpole oder Folgepunkte.

Bei der Methode des doppelten Striches, welche ein regelmäßigeres Magnetisiren des Stabes hervorbringt und von Duhamel erfunden worden ist, bringt man an die beiden viereckigen parallel liegenden Stahlstäbe, die magnetisirt werden sollen (Fig. 144), zwei andere Stahlstäbe (Anker genannt), so daß durch diese letzteren die beiden Stahlstäbe mit einander zu einer zusammenhängenden Eisenmasse verbunden sind.



Um nun in diesen Stäben den Magnetismus zu entwickeln, setzt man zwei künstliche Magnete (Streichmagnete) mit entgegengesetzten Polen unter Winkeln von 15—20° auf die Mitte des Stabes in geringer Entfernung von einander auf, streicht gleichzeitig mit dem einen Magnete nach dem einen, mit dem andern Magnete nach dem andern Ende hin. Darauf hebt man die Magnete ab und bringt sie in die Mitte der Fläche des Stabes zurück. Dieselbe Operation wird ungefähr zehn Mal für eine jede der Flächen wiederholt. Dadurch wird dem Stahlstab das Maximum des Magnetismus ertheilt, welches er überhaupt unter diesen Bedingungen annehmen kann. Man nennt die so eben angeführte Methode die Methode des getrennten Striches. Eine andere Methode, die des ungetrennten Striches oder die Methode des Aepinus genannt, besteht darin, daß man die beiden Magnete wie vorher aufsetzt, dieselben aber in gleichbleibender Entfernung von einander haltend, gemeinschaftlich nach den Enden hin- und zurückführt.

Nutzen der Anker. Der Nutzen der Armatur oder der Anker aus weichem Eisen ist leicht einzusehen. Der in dem Stahlstabe erregte Magnetismus wirkt auf das weiche Eisen ein und erzeugt darin zwei Pole. Die daraus in dem Stabe A B entstehende Reaction unterstützt die Wirkung der Striche und bringt in dem parallelen Stabe A' B' ein beginnendes Magnetisiren hervor. Ein mehrmaliges Streichen mit dem Streichmagnete auf die beiden Flächen dieses Stabes bringt das Maximum des Magnetismus darin hervor.

Die vortheilhafte Anwendung von Stücken weichen Eisens bei dieser Operation erklärt auch den Nutzen der Anker, die man bei künstlichen und natürlichen Magneten anwendet, in der Absicht, theils den Magnetismus zu conserviren, theils auch, um durch an sie gehängte Gewichte die Tragkraft zu bestimmen. Die Wirksamkeit der Anker beruht darauf, daß sie durch Vertheilung stark magnetisch geworden, wiederum vertheilend auf den Magneten zurückwirken und dessen Magnetismus erhöhen, andererseits durch diese Rückwirkung als beständige Quelle magnetischer Erregung die Schwächung, welche leicht sich selbst überlassene Magnete erleiden, verhindern.

282. Richtung der Magnetnadel. Eine mit Hülfe der genannten Verfahren erhaltene Magnetnadel nimmt, wenn sie in ihrem Schwerpunkte an einen beweglichen Faden aufgehängt und darauf sich selbst überlassen wird, bald eine bestimmte Lage an. Sie neigt sich auf die Horizontale hin und hat eine Richtung ungefähr von Nord nach Süd. Ihr Nordende ist unter dem Horizonte der nördlichen Halbkugel, über dem Horizonte in der südlichen Halbkugel. Wenn man die Nadel aus dieser ihrer Gleichgewichtslage entfernt, so gelangt sie nach einer Anzahl von Schwingungen wieder in dieselbe zurück.

283. Magnetischer Meridian. Declination. Der magnetische Meridian ist die durch die Richtung einer in ihrem Schwerpunkt aufgehängten Magnetnadel gehende Vertikalebene.

Wenn man den magnetischen Meridian mit dem geographischen Meridian des Beobachters vergleicht, so findet man, daß beide sich unter einem Winkel schneiden, den man die Declination oder Abweichung nennt.

Säcularvariationen der Declination. Die Declination ist von der Zeit und dem Orte abhängig. Im Jahre 1663 fiel der magnetische Meridian von Paris mit dem geographischen zusammen

und die Magnetnadel zeigte genau nach Norden. Seit dieser Zeit aber findet eine Declination nach Westen Statt.

Gegen das Jahr 1818 hatte diese westliche Abweichung ihr Maximum erreicht; sie betrug 22° 32′, seit dieser Zeit ging der Nordpol der Nadel wieder allmählich nach Osten. Im Jahre 1835 betrug die Abweichung noch 22° 04′, am Ende des Jahres 1850 war sie nur noch 20° 30′ 40″, was ungefähr eine jährliche Verminderung von 6′ 13″ ausmacht. Diese Verminderung scheint im Zunehmen begriffen zu sein.

Eine ähnliche Bewegung ist auch auf andern Orten der Erdoberfläche beobachtet worden. Variationen dieser Art werden säculare genannt.

Diejenigen Linien auf der Erdoberfläche, welche die Orte gleicher Declination mit einander verbinden, werden isogonische Linien oder Isogonen genannt. In Folge der erwähnten Säcularvariationen der Declination ändern dieselben mit der Zeit ihre Lage und deßhalb gelten geographische Karten, in welchen die Isogonen eingezeichnet sind, nur für einen bestimmten Zeitpunkt.

Es giebt jedoch Orte auf der Erdoberfläche, wie die westliche Spitze der Antillen und Spitzbergen, an welchen die Declination kaum während eines Jahrhunderts sich ändert.

Außer diesen säcularen Variationen bemerkt man auch Oscillationen von kürzerer Dauer. Die monatlichen Variationen der magnetischen Declination sind sehr unbedeutend; man hat sich bis jetzt darauf beschränkt, sie zu constatiren.

Die täglichen Variationen scheinen mit der täglichen Wärmeperiode zusammenzuhängen. Von $7\frac{1}{2}$ Uhr des Morgens bis $1\frac{1}{2}$ Uhr Nachmittags geht der Nordpol der Nadel nach Westen; von dieser Zeit an dreht sie wieder nach Osten und hat ungefähr um 10 Uhr Abends ihren Lauf beendigt. Während der Nacht bleibt die Nadel ruhig, abgesehen dabei von der durch zufällige Störungen hervorgebrachter Bewegung.

Auf der südlichen Halbkugel findet eine umgekehrte Bewegung statt; der Nordpol der Nadel geht nach Osten und folgt übrigens eben so wie auf unserer Halbkugel der Bewegung der Sonne. Die Amplitude dieser täglichen Variationen nimmt mit der magnetischen Breite zu und variirt mit den Jahreszeiten. Vom 1. April bis zum 1. October beträgt die Amplitude ungefähr 14 Minuten, für die übrigen sechs Monate des Jahres 9 Minuten.

Die zufälligen Veränderungen der Magnetnadel werden durch die magnetischen Ungewitter hervorgebracht, die sich durch das Erscheinen des Nordlichtes zu erkennen geben. Unregelmäßige Bewegungen der Magnetnadel gehen den Lichterscheinungen des Ungewitters voraus. Dieses Ungewitter ist nicht wie das elektrische Ungewitter auf einen kleinen Raum beschränkt, sondern äußert seinen Einfluß auf einen großen Theil der Continente; die Einwirkung auf die Magnetnadel giebt sich an Orten zu erkennen, die von den Gegenden, an welchen die Lichtphänomene zu bemerken sind, sehr weit entfernt liegen.

284. Magnetische Inclination oder Neigung. Darunter versteht man denjenigen Winkel, welchen eine in ihrem Schwerpunkt aufgehängte Magnetnadel mit der Horizontalebene macht. Die magnetische Inclination, vom praktischen Standpunkte aus weniger wichtig als die Declination, ist weit weniger als die Declination studirt worden. Erst seit einigen Jahren ist auf zuverlässige Weise nachgewiesen worden, daß dieses Element der Declination analoge Variationen darbietet. Im Jahre 1830 betrug die Inclination in Paris 67° 42′; im Jahre 1850: 66° 37′. Neue Untersuchungen haben gezeigt, daß die mittlere jährliche Verminderung 3′ beträgt.

Diejenigen Linien auf der Erdoberfläche, welche die Orte gleicher magnetischer Inclination mit einander verbinden, werden isoklinische Linien oder Isoklinen genannt.

Mit dem Namen magnetische Pole bezeichnet man die Punkte, in welchen die Magnetnadel eine vertikale Lage annimmt. Verbindet man alle Orte mit einander, an welchen die Inclination gleich Null ist, so erhält man den magnetischen Aequator, der aber nicht mit dem geographischen Aequator zusammenfällt, sondern eine Linie von doppelter Krümmung bildet, welche den geographischen Aequator in zwei Punkten durchschneidet; diese beiden Punkte, welche man die Knotenpunkte des magnetischen Aequators nennt, scheinen in einer sehr langsamen Bewegung begriffen zu sein.

Die täglichen und monatlichen Variationen der Inclination sind sehr schwach; die Amplitude derselben beträgt nicht viel mehr als 4′—5′.

285. Einfluß der Erde. Wenn man eine Magnetnadel über einen starken Magnet aufhängt, so bemerkt man, daß sie ihre magnetische Axe in die Vertikalebene lenkt, welche durch die Linie der Pole des Magneten geht, und dabei ihre Pole nach der entgegen-

gesetzt bezeichneten des Magneten richtet. Wenn man die Nadel aus dieser Lage entfernt, so kehrt sie nach einer Reihe von Oscillationen in dieselbe zurück.

Durch die Analogie dieser Wirkung mit denjenigen Effecten, welche durch die unbekannte richtende Ursache der freischwebenden Magnetnadel erzeugt werden, ist man veranlaßt worden, den Erdkörper als einen mit zwei entgegengesetzten Polen begabten Magneten zu betrachten. Der eine dieser Pole würde in der Nordpolgegend, der andere in der Südpolgegend sein.

In Folge dieser Hypothese, die man mit der Thatsache verbunden hat, daß gleichnamige Pole sich abstoßen, ungleichnamige sich anziehen, hat man in Frankreich dem Nordende der Nadel den Namen Südpol, dem Südende dagegen den Namen Nordpol gegeben. In Deutschland pflegt man das Nordende Nordpol, das Südende Südpol zu nennen.

Die Wirkung des Erdmagnetismus ist eben so wie die Schwere einer Centralwirkung, die bei sehr nahe liegenden Punkten nach parallelen Richtungen hin wirkt.

Es folgt dieß aus den Versuchen von Coulomb, der nachgewiesen hat, daß die Kraft, mit welcher ein magnetisches Pendel in seine Gleichgewichtslage zurückzukehren strebt, proportional dem Sinus des Ausschlagswinkels ist.

Die Wirkung der Erde auf die Magnete ist nur eine richtende; sie ist der Wirkung eines Kraftpaares zu vergleichen, das die Entfernung der beiden Pole des Magneten von einander als Hebelarme hat, dessen Kräfte ferner parallel der Richtung der frei-aufgehängten Magnetnadel sind (Fig. 145). Die Länge des perpendiculären Hebelarmes variirt mit der Lage der Nadel; sie ist Null, wenn die Nadel

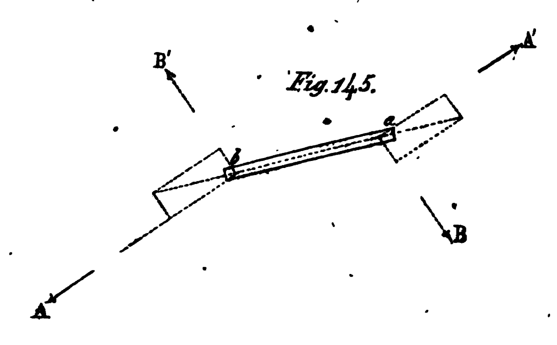


Fig. 145.

in der Ebene des Meridians ist; sie variirt proportional dem Sinus des Ausschlagswinkels.

Das Vorstehende folgt aus der Seite 227 angeführten Hypothese, nach welcher die Wirkungen, die von einem jeden der Pole der Erde auf die Pole der Magnetnadel ausgeübt werden, gleich, parallel und entgegengesetzt sind.

Die Wirkung der Erde auf eine Magnetnadel ist nur eine richtende und keine anziehende, denn, wäre letzteres der Fall, so müßte eine Magnetnadel mehr wiegen, nachdem sie magnetisch gemacht worden ist, als vorher. Eine auf einem Kork befindliche Magnetnadel würde, wenn die Wirkung der Erde auf einen Magnet eine anziehende wäre, sobald sie aufs Wasser gebracht wird, nach dem Norden zu schwimmen suchen, was aber nicht der Fall ist.

286. Componenten der Wirkung der Erde auf einen Magneten. Bezeichnen wir mit α, β, γ die Winkel der magnetischen Kraft mit den fixen rechtwinkligen Axen x, y, z (Fig. 146), und mit F die Intensität, so sind die Componenten dieser Kraft nach den Axen:

$$F \cos \alpha \ (x) \qquad F \cos \beta \ (y) \qquad F \cos \gamma \ (z).$$

Wir nehmen an, daß die Axe von z vertikal sei.

Fig. 146.

Wenn die Nadel aus dem magnetischen Meridian entfernt wird, so werden die horizontalen Componenten F cos α, F cos β allein wirksam sein, um die Nadel in ihre Gleichgewichtslage zurückzuführen. Die vertikale Componente ist ohne allen Einfluß. Bei den Declinationsnadeln läßt sie sich durch ein Gegengewicht vernichten.

Wenn sich die Nadel um eine nicht biegsame, zu einer der Ebenen von X Z und von Y Z perpendiculären Axe bewegt, so ist die Bewegung und die Richtung durch die mit diesen Ebenen parallelen Componenten bestimmt; die horizontale Einwirkung ist durch die Steifheit der Axe vernichtet worden.

Für die Winkel, welche die Nadel mit der Horizontalen in einer jeden dieser Ebenen bildet, findet man:

$$(X\,Y)\ \cot I' = \frac{\cos\alpha}{\cos\gamma},\quad (Y\,Z)\ \cot I'' = \frac{\cos\beta}{\cos\gamma}.$$

Die Summe der Quadrate dieser Werthe führt auf die Gleichung

$$\cot^2 I' + \cot^2 I'' = \tang^2\gamma = \cot^2 I.$$

Diese Formel kann zur Bestimmung der Inclination dienen; sie zeigt, 1) daß eine doppelte Beobachtung der Inclination in zwei rechtwinkligen Vertikalebenen die Beobachtung dieses Winkels in der Ebene des magnetischen Meridians unterstützen kann, 2) daß für $I' = I, I''' = 90^0$, d. h. daß in einer zu dem magnetischen Meridian perpendiculären Ebene die Nadel vertikal steht.

287. Einfluß des Erdmagnetismus auf das Eisen. Die Magnetisirung eines Eisenstabes kann sich unter dem Einflusse der Erde eben so gut wie unter dem Einflusse eines Magneten entwickeln. Diese Einwirkung ist jedoch nur bei weichem Eisen zu bemerken.

Wenn man einen Stab aus weichem Eisen in eine der Richtung der Inclinationsnadel nahekommende Stellung bringt, so nimmt derselbe an beiden Enden entgegengesetzte Pole an. Durch Umkehren des Stabes werden auch die Pole umgekehrt.

Um den Stab dauernd magnetisch zu machen, muß er durch Hämmern oder Reiben wiederholt erschüttert werden.

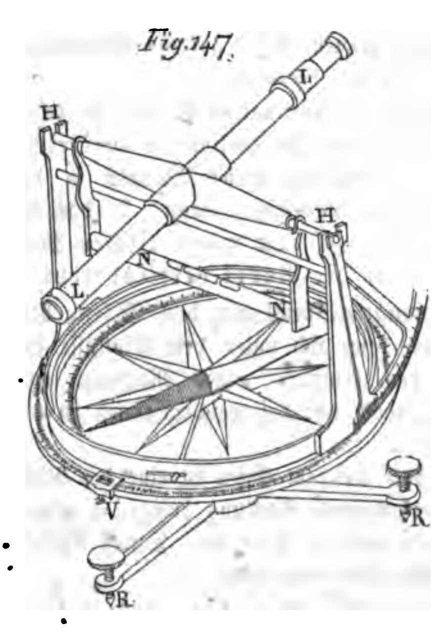
288. Magnetische Kraft eines Magneten. Die Anzahl der Schwingungen, die in der Einheit der Zeit von einer dem Einflusse des Erdmagnetismus ausgesetzten Magnetnadel vollbracht werden, ist eine Function, welche aus dem Magnetismus des Erdkörpers und dem Magnetismus der Nadel zusammengesetzt ist.

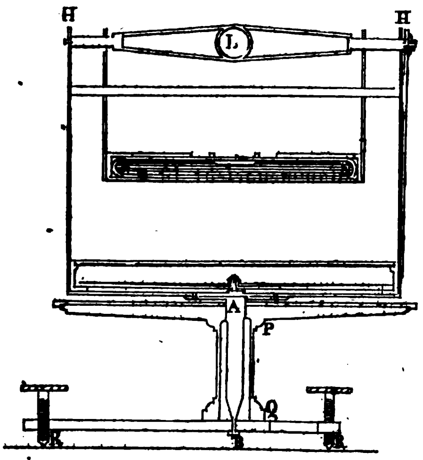
Der erstere ist an dem nämlichen Orte für nicht weit auseinander liegende Perioden ziemlich constant; wenn man nach einander zwei auf die nämliche Weise aufgehängte Magnetnadeln schwingen läßt, so giebt das Verhältniß der Quadrate der Anzahl der Oscillationen das Verhältniß der richtenden Kraft der beiden Nadeln an.

Durch dieselbe Methode läßt sich auch der Grad des Magnetisirtseins einer Nadel ermitteln.

Auf diese Weise hat Coulomb gefunden, daß bei gleicher Länge und bei gleichem Gewicht die Compaßnadeln in Gestalt eines Doppelpfeils eine größere richtende Kraft besitzen als Nadeln von einer andern Form.

289. Declinationsboussole. Die Nadel derselben besteht aus einer Stahlnadel, welche die Gestalt eines Doppelpfeils hat. In



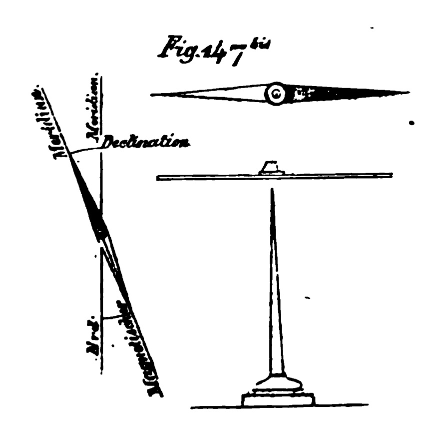


ihrem Mittelpunkte befindet sich eine kreisförmige Oeffnung, in welcher ein Achathütchen angebracht ist. Dieses Stück (Fig. 147) ist von ellipsoidischer Form, im Innern sorgfältig polirt und ruht auf einem conischen Zapfen, dessen Winkel 15 bis 20° beträgt. Dieser Winkel ist nach Versuchen von Coulomb für die Beweglichkeit der Nadel am vortheilhaftesten.

Die Nadel befindet sich in einem kupfernen Behälter, in welchem ein in Grade getheilter Kreis angebracht ist. Der Behälter ist mit einer Glastafel verschlossen und mit einer festen Axe verbunden, welche in einem Kegel endigt. Der hohle Fuß des Instrumentes P Q, in dem sich die Axe A B befindet, trägt durch sechs divergirende Strahlen einen Kreis, welchen man den Azimuthalkreis nennt, auf welchen die Winkelveränderungen des Behälters aufgenommen werden können. Die Veränderungen werden mit Hülfe von zwei Nonien V und V′ bestimmt.

Die Einfallsschrauben R R dienen zur horizontalen Einstellung des Instrumentes; eine Libelle N zeigt die Horizontalität an.

Um den Winkel der Nadel mit dem astronomischen Meridian zu bestimmen, befindet sich auf dem Apparat ein Fernrohr, das um

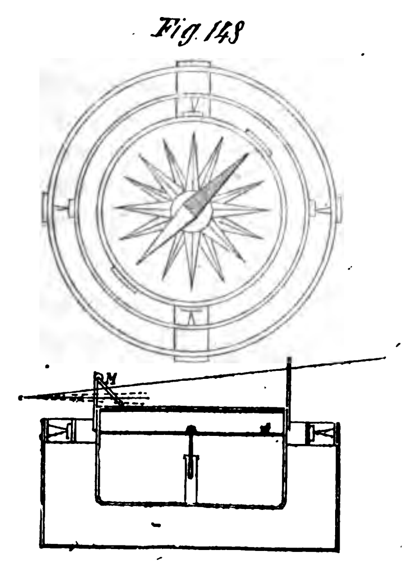


die horizontale H beweglich ist; H liegt in der Vertikalebene des Zapfens der Nadel.

Das Fernrohr bewegt sich mit dem Behälter; es ist mit einem Fadenkreuz verbunden; durch eine einfache Abänderung kann es leicht in ein Mikroskop verwandelt werden.

Um die Declination zu messen, richtet man das Fernrohr auf die beiden Enden der Nadel und stellt ein, bis der Mittelpunkt der Fäden mit den Bildern der Enden der Nadel coincidirt. Ist diese Bedingung erfüllt, so befindet sich die optische Axe des Fernrohres in dem magnetischen Meridian. Um diese Ebene zu erkennen, braucht man nur das Fernrohr auf einen in der Nähe des Horizontes befindlichen befestigten Gegenstand zu richten und den Azimuth dieses Gegenstandes in Bezug auf den astronomischen Meridian zu bestimmen. Diese Operation kann mit Hülfe des Fernrohres und des Azimuthuskreises ausgeführt werden.

Fig. 148

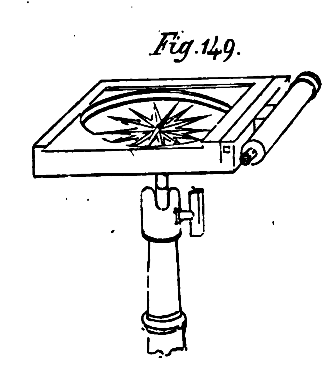


290. Compaß. Bei dem zum Schiffsgebrauche bestimmten Compaß (Fig. 148) befindet sich die Nadel auf einer kreisförmigen Papierscheibe, die auf eine Platte aus Marienglas aufgeklebt ist. Die Papierscheibe, die Windrose genannt, enthält auf ihrer Fläche eine besondere Theilung in 32 Theile, die Striche der Windrose genannt. Diese Windrose wird auf die Magnetnadel so befestigt, daß der Nullpunkt, oder was dasselbe ist, der Nordpunkt ihrer Eintheilung auf das Nordende der Nadel zu liegen

kommt. Das Ganze ist mit einem Deckel von Glas versehen, welcher die Nadel von störenden Einflüssen der Atmosphäre schützt

Die Vorrichtung zum Visiren nach den Gegenständen besteht aus zwei Stücken; eines derselben ist eine auf die Ebene des Kompaßgehäuses senkrechte Kupferplatte, in der Mitte mit einer Längenöffnung durchbrochen, in deren Mitte sich ein kleiner Faden gespannt befindet, der während der Beobachtungen vertikal und senkrecht auf die Ebene der Kreiseintheilung blicken muß. Man erhält diese Bedingung erfüllt, indem man den Faden durch ein kleines Gewicht spannt. Hinter den andern Theil, welcher dem ersten gegenüber liegt, und der mit einer Oeffnung versehen ist, bringt man das Auge. Dieser Theil besteht wesentlich aus einem halbrunden Stück einer biconvexen Linse, welches die Bestimmung hat, das Bild der Grade der Kreiseintheilung, das durch einen klaren Spiegel M zurückgeworfen wird, dem Auge näher zu bringen und zu vergrößern. Da die Oeffnung der Pupille einen merklichen Durchmesser hat, so vermag man auf diese beiden Arten zu gleicher Zeit zu sehen. Der vertikale Faden erscheint dann als ein dünner Strich auf dem zurückgeworfenen Bild der ihm diametral entgegengesetzten Eintheilungen, und giebt durch dieses Uebereinanderfallen die Bestimmung der Gesichtslinie leicht und genau an. Wenn man z. B. das Instrument dreht, bis der Faden auf 180° projicirt, so wird die Gesichtslinie mit der Richtung der Nadel selbst zusammenfallen und die Abweichung der auf dieser Richtung gelegenen Gegenstände Null sein. Dreht man aber das Gehäuse horizontal um einen gewissen Winkel und läßt so die Gesichtslinie auf andere Gegenstände fallen, so wird die Nadel, die an der Bewegung nicht Theil nimmt, die Kreiseintheilung in der nämlichen Lage festhalten, und der Faden wird sich auf eine andere Zahl Grade projiciren, wodurch der Winkel, um den die Drehung erfolgt ist, gemessen wird.

Der Seecompaß ist so eingerichtet, daß die Nadel ungeachtet der Bewegungen des Schiffes horizontal bleibt. Zu diesem Zwecke ist die Büchse, in der sich der Compaß befindet, an eine Axe angebracht, die sich innerhalb eines Ringes drehen kann, während wieder dieser Ring 1 sich in einem zweiten größeren Ringe 2 und um eine auf der Axe des Ringes 1 senkrechte Axe drehen kann. Auf diese Weise kehrt die Nadel von selbst in die Vertikale zurück, so bald sie durch die Bewegung des Schiffes daraus entfernt worden ist.


Fig. 149.

Der Compaß zum Aufnehmen (Fig. 149) besteht aus einer freischwebenden Nadel, die sich in einem viereckigen Gehäuse befindet. Die Axe des Zapfens der Nadel fällt mit der Axe eines Zifferblattes zusammen, deren Linien 0,180 mit einer der Seiten des Gehäuses parallel ist. Dieser Compaß wird benutzt, um den Meßtisch einzustellen oder Winkel zu messen. Im letztern Falle befindet sich an der Seite, die mit der Linie (0,180°) parallel ist, ein Fernrohr.

291. Inclinationsboussole. Die Inclinationsnadel hat die Form einer länglichen Raute (Fig. 150) und ist über einer horizontalen Axe mittelst eines kupfernen Ringes aufgehängt. Ein verti-

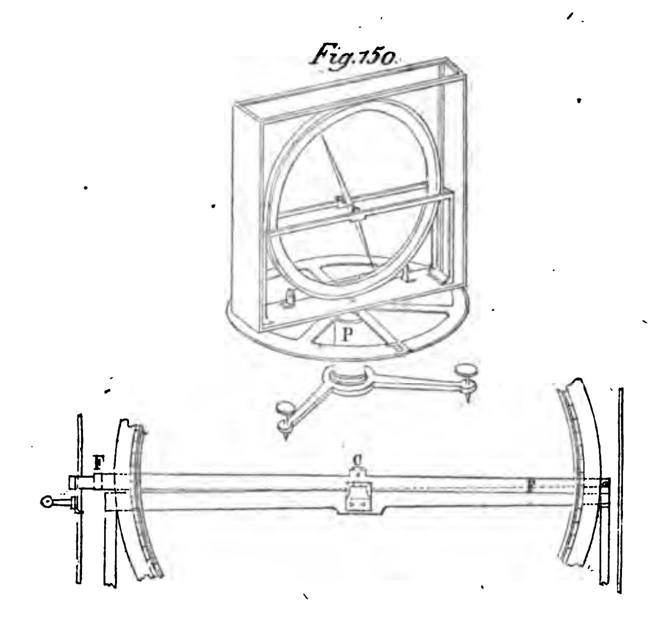


Fig. 150.

kaler Kreis, der in der Ebene des magnetischen Meridians aufgestellt ist, und in dessen Ebene die Magnetnadel sich dreht, giebt die Inclination der letzteren an. Der horizontale Kreis hat die Be-

stimmung, dem vertikalen Kreis verschiedene Neigung gegen den magnetischen Meridian zu geben.

An dem genau vertikal stellbaren, getheilten Kreise befinden sich zwei Stützen, welche die Pfannen für die horizontale Axe der Magnetnadel enthalten. Diese Axe muß genau durch den Mittelpunkt des getheilten Kreises, durch den Schwerpunkt der Nadel gehen und leicht beweglich sein. Der Rektangel, auf welchem die Nadel ruht, ist ein wichtiger Bestandtheil der Boussole; er besteht aus einem festen Querstücke, das eine Schneide von Achat C trägt, und aus einem andern Querstück, das um die Axe beweglich ist. Letztere trägt Gabeln F, welche die Drehungsaxe der Nadel aufnimmt, wenn man sie nicht länger auf der Achatschneide ruhen lassen will.

Um die Inclination zu messen, nachdem die Declination oder die Richtung des magnetischen Meridians bekannt ist, stellt man die Ebene des vertikalen Kreises in diese Richtung. Sehr bald stellt sich die Nadel von selbst in die Richtung der Inclination. Will man nicht abwarten, bis sie sich in dieser Stellung fixirt hat, bis zu welchem Grade am vertikalen Kreise die Nadel bei den kleinen Oscillationen, die sie macht, ausschlägt und nimmt aus diesen das Mittel. Nach dem ersten Resultate wird die Nadel umgewendet, so daß der anfangs westlich gerichtete Theil der Drehungsaxe nun nach Osten steht, ohne aber zugleich die Pole der Nadel umzuwenden und stellt die Beobachtung wie vorher an. Durch diese Umwendung erhält man ein Mittel, die möglichen Beobachtungsfehler zu verbessern.

Fünfundzwanzigstes Kapitel.

Von der Elektricität.

293. Reibungselektricität. Wenn man gewisse Körper, wie Schwefel, Harz und Glas mit Wollen- oder Seidenzeug reibt, so erlangen dieselben vorübergehend die Eigenschaft, leichte Körper, wie Papierschnitzel, Sägespäne, Kügelchen von Hollundermark u. s. w. anzuziehen. Diese Eigenschaft verschwindet aber nach einiger Zeit und die Körper verhalten sich gegen einander wie vor dem Reiben.

Wenn die geriebenen Glas- oder Harzcylinder von großen Dimensionen sind, so bemerkt man, sobald man den Finger dem Cylinder nähert, ein Knistern, und im Dunkeln einen Funken. An dem geriebenen Körper nimmt man im Finstern einen bläulichen Lichtschein wahr, welcher dem reibenden Zeug folgt.

Diese Eigenschaft gewisser Körper, durch Reiben vorübergehend leichte Körper anzuziehen, ist mit dem Namen der Elektricität bezeichnet worden. In den ältesten Zeiten nämlich hatte man schon beobachtet, daß der Bernstein (im Griechischen ἤλεκτρον, Elektron) durch Reiben die erwähnte Eigenschaft erlange.

294. Leiter. Isolatoren. Lange Zeit hindurch war man der Meinung, daß nur gewisse Körper die Eigenschaft erlangen können,

Elektricität anzunehmen. Genaue Versuche haben aber gezeigt, daß sich die Elektricität in allen Körpern entwickeln könne, daß sie aber nicht in allen im gleichen Maße zurückgehalten werde.

Wenn man einer frisch geriebenen Harzstange einen Glasstab oder eine nicht geriebene Harzstange nähert, so findet man, daß eine Mittheilung der Elektricität stattfindet und der zweite Stab die Eigenschaft angenommen hat, leichte Körper anzuziehen. Der Sitz dieser Eigenschaft aber ist begrenzt und erstreckt sich nicht viel über die Theile hinaus, die mit einander in Berührung waren.

Berührt man dagegen geriebenes Harz mit einem Metallcylinder, der von einem Stiel aus Glas oder Harz gehalten wird, so geht allerdings auch die Elektricität aus dem Harz in das Glas über, sie bleibt aber nicht an gewissen Stellen, sondern breitet sich über die ganze Oberfläche des Metalles aus. Bei metallischen Flächen findet demnach eine schnelle Diffusion von Elektricität statt, was bei Harz- und Glaskörpern nicht der Fall ist. Letztere scheinen gegen die Elektricität eine gewisse Adhäsion auszuüben und sie an den Berührungsstellen hartnäckig festzuhalten, ohne sie durch ihre Masse hindurchzuleiten. Man nennt diese Körper Nichtleiter oder Isolatoren, zum Unterschied von den erstgenannten, die man Leiter nennt.

Harz, Glas, Schwefel, die meisten Metalloide, die Luft und Gase sind schlechte Leiter. Geglühte Kohle, die Metalle, die flüssigen Körper mit Ausnahme der Oele, organische Gewebe, den Wasserdampf betrachtet man als Leiter der Elektricität.

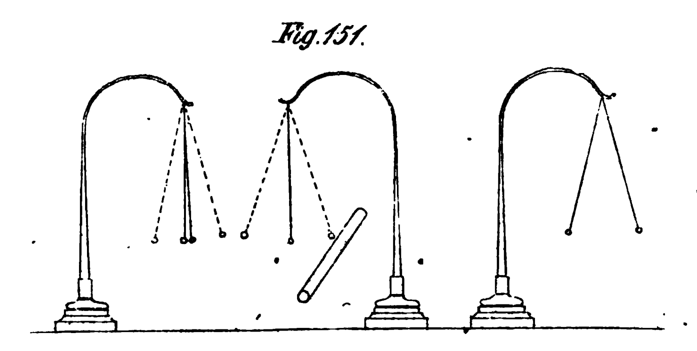
295. Elektrisirung der Metalle. Die augenblickliche Vertheilung der Elektricität in metallischen Körpern und Leitern, wie der Boden, Theile lebender Thier- und Pflanzenkörper ist die Ursache, warum man die Elektricität nicht wahrnimmt, wenn man Metalle reibt und dieselben dabei in der Hand hält. Versieht man aber die Metalle vor dem Reiben mit nicht leitenden Handhaben, so findet man, daß sie eben so wie Glas und Harze elektrisch geworden sind.

296. Einfluß des Luftdruckes. In feuchter oder sehr verdünnter Luft entwickelt sich entweder keine Elektricität, oder die entwickelte Elektricität verschwindet sehr bald wieder; daraus folgt, daß die Luft zugleich durch ihren Druck und durch ihr Isolirvermögen die Elektricität auf der Oberfläche der leitenden Körper zurückhält.

Bei den Nichtleitern unterstützt eine eigenthümliche Affinität, welche die Elektricität selbst in der verdünntesten Luft erhält, den Druck der Atmosphäre.

297. Entgegengesetzte Elektricitäten. Nachdem die Bedingungen, unter welchen Körper elektrisirt werden können, angegeben werden können, gehen wir zur Betrachtung der elektrischen Eigenschaft selbst über.

Wenn man ein leichtes Kügelchen einer die Elektricität leitenden Substanz, wie z. B. von Hollundermark, an einem Seidenfaden aufhängt (Fig. 151) und demselben eine elektrisirte Harzstange nähert,


Fig. 151.

so wird das Kügelchen angezogen, bleibt einige Augenblicke an dem Harz haften, theilt demselben seine Elektricität mit und wird sodann wieder abgestoßen. Gleichnamig elektrisirte Körper stoßen demnach einander ab.

Nähert man nun dem Hollunderkügelchen, das durch Berührung mit dem Harz elektrisirt worden ist, einen mit Wolle geriebenen Glasstab, so findet Anziehung statt. Daraus geht hervor, daß das mit Wolle geriebene Glas nicht dieselbe Elektricität als das Harz annimmt.

Dieselbe Aufeinanderfolge der Effecte ist zu bemerken, wenn man das Hollundermarkkügelchen im nicht elektrisirten Zustande zuerst dem Glasstabe und dann der Harzstange nähert.

Anfänglich hat man die durch Reiben des Glases mit Wolle entwickelte Elektricität Glaselektricität, die mit derselben Substanz auf Harz erzeugte dagegen Harzelektricität genannt. Seit-

dem sind diese Benennungen mit den passenderen Namen der positiven und der negativen Elektricität vertauscht werden.

Um alle Zweideutigkeiten zu vermeiden, ist man übereingekommen, die Elektricität eines Körpers, der ein isolirtes Pendel anzieht, welches mit einer durch Reiben mit Wollenzeug elektrisch gemachten Harzstange berührt worden ist, positive oder + Elektricität zu nennen. Diejenige Elektricität, welche dieses Pendel abstößt, bezeichnet man mit dem Namen der negativen oder — Elektricität.

298. Hypothesen über die Natur der beiden Elektricitäten. Die elektrischen Eigenschaften der Körper werden im Allgemeinen diesen beiden Elektricitäten zugeschrieben. Die Moleküle der einen dieser Elektricitäten wirken durch Repulsion auf einander ein und durch Attraction auf die Moleküle der andern Elektricität. In Körpern, die sich im natürlichen Zustande befinden, sind diese Flüssigkeiten vereinigt, sie haben sich gegenseitig neutralisirt und bilden die gebundene Elektricität. Durch Reibung und durch alle übrigen bekannten Elektricitätserregungsmittel wird die gebundene oder neutrale Elektricität zersetzt. Die Gesetze, nach welchen diese Zersetzung erfolgt, sind uns unbekannt, wir wissen nur, daß zwei an einander geriebene Körper entgegengesetzte Elektricitäten annehmen. Die Art der Elektricität, welche ein jeder Körper nach dem Reiben enthält, ist von der Natur und dem physikalischen Zustand der geriebenen Körper abhängig. Scheinbar unbedeutende Umstände, wie z. B. eine Veränderung auf der Oberfläche, der Thermometerstand, die Richtung, nach welcher gerieben wird, sind hinreichend, um eine Veränderung des elektrischen Zustandes in den entgegengesetzten zu bewirken.

Die Elektrisirung durch Reiben findet für jeden Zustand der Körper statt.

Bei dem Versuche des Quecksilberregens (Seite 9) bewirkt die Reibung der Quecksilbertröpfchen die Elektrisirung des Glases.

Die bei diesem Versuche frei werdende Elektricität erklärt das Leuchten, welches man im Dunkeln bemerkt, wenn man die Quecksilbersäule des Barometers schnell bewegt, oder Quecksilber auf die trocknen Wände eines Porcellangefäßes fallen läßt.

Gase und Dämpfe sind ebenfalls fähig, durch Reibung elektrisirt zu werden; wenn man auf eine Fensterscheibe trockne Luft bläst, so wird sie positiv elektrisirt.

299. Vertheilung der Elektricität. Die Elektricität verbreitet sich nur auf der Oberfläche leitender Körper.

Um dies zu beweisen, nimmt man eine hohle Metallkugel, die isolirt und mit einer kreisförmigen Oeffnung versehen ist; durch diese Oeffnung bringt man eine kleine Scheibe aus Flittergold, die an einer Siegellackstange befestigt ist, in die Kugel, ohne jedoch die Wände derselben zu berühren, und setzt die Scheibe mit der innern Fläche der Kugel in Verbindung. Darauf entfernt man die Scheibe aus der Kugel und nähert sie dem Elektroskop (siehe weiter unten). Ist der Versuch gelungen, so bemerkt man nicht die geringste Menge von Elektricität. Wird dagegen die nämliche Scheibe mit der äußern Fläche der Kugel in Berührung gebracht und sodann dem Elektroskop genähert, so wird letzteres sogleich angezogen. Das elektrische Fluidum befindet sich demnach nur auf der äußern Oberfläche der Kugel und nicht auf den innern Punkten der Oberfläche.

Dieselben Erscheinungen lassen sich bei Leitern von jeder Form beobachten; daraus schließt man, daß das elektrische Fluidum auf einen elektrisirten Leiter auf der äußern Oberfläche derselben eine dünne Schicht bildet, welche durch den Druck der Luft erhalten wird.

Die Dicke dieser Schicht ist auf einer Kugel constant. Bei elliptischen Körpern richtet sie sich nach der Form und den Axen derselben.

Von der Dicke dieser Schicht, welche nach den Berechnungen von Poisson zu der Spannkraft sich wie das Quadrat verhält, hängt das Bestreben zur Ausgleichung des Zwangszustandes, in welchem sich die Elektricität in Bezug auf ihre Umgebung befindet, oder die elektrische Spannung ab.

Ist ein Körper sehr lang, so kann der Fall eintreten, daß die Spannung an dem einen Ende weit größer ist, als am andern, und dadurch der Luftdruck überwunden wird. In diesem Falle entweicht die Elektricität an diesem Ende.

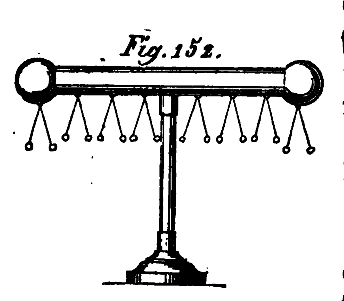
Dasselbe findet bei Körpern statt, die in einer Spitze endigen; das Entweichen der Elektricität geht sehr schnell vor sich.

Wenn man auf einen elektrisirten Leiter, der mit einem Pendel versehen ist, einen in einer Spitze endigenden Leiter bringt, so bemerkt man, daß das Pendel keine Elektricität mehr anzieht.

300. Vertheilungselektricität. Aus der Theorie der beiden

elektrischen Flüssigkeiten folgt, was stattfinden muß, wenn man einen Körper im natürlichen Zustande einem elektrisirten nähert. Die anziehende Wirkung einerseits, die abstoßende Wirkung andererseits, welche die freie Elektricität auf die beiden Flüssigkeiten, aus welchen die neutrale Elektricität besteht, ausübt, bewirkt eine Zerlegung der letzteren. Die entgegengesetzt bezeichnete Flüssigkeit wird von denjenigen Theilen des Leiters angezogen, welche dem elektrisirten Körper zunächst liegen; die gleichnamige Flüssigkeit dagegen wird gegen die entferntesten Theile des Körpers hin abgestoßen. Unter diesem doppelten Einflusse theilt sich die Oberfläche des Leiters in zwei Zonen, von denen die eine positiv, die andere negativ elektrisirt ist. Die Dicken der elektrischen Schicht nehmen von den äußersten Enden einer jeden Zone bis zu dem mittlern Theile ab.

Alle diese Folgerungen der Theorie der beiden Flüssigkeiten können durch das Experiment bewahrheitet werden. Um diese Folgerungen zu studiren, bedient man sich eines metallenen Cylinders, dessen äußerste Enden abgerundet sind (Fig. 152). Der Cylinder ist durch einen Glasfuß isolirt. Wird derselbe dem Conductor einer Elektrisirmaschine genähert, so ladet sich das der Elektricitätsquelle zunächst gelegene Ende des Cylinders mit negativer Elektricität, das entgegengesetzte Ende mit positiver. Von diesen Enden aus verbreiten sich die Elektricitäten in entgegengesetzter Richtung und nehmen an Intensität ab bis zu der Mittellinie, in welcher sie sich vollständig neutralisiren.


Fig. 152.

Die Vertheilung der Flüssigkeit auf jeder Zone läßt sich leicht mit Hülfe eines Hollundermarkpendels studiren, das man von einem Ende des Cylinders nach dem anderen bringt. Je nach der Länge des Cylinders kann man auch an demselben Pendel anbringen, die aus zwei Leinfaden und Hollundermarkkügelchen construirt sind; diese Pendel gehen sogleich auseinander, sobald der Cylinder dem Conductor der Maschine genähert wird. Die Divergenz der Pendel vermindert sich von dem Ende nach dem mittlern Theile zu.

Die Vertheilung der Flüssigkeit verändert sich, wenn man den Cylinder dem Conductor der Maschine mehr oder weniger nähert;

die Quantität der zersetzten neutralen Flüssigkeit verändert sich in derselben Zeit.

Wenn man den Cylinder entfernt, so vereinigen sich die beiden getrennten Flüssigkeiten und der Cylinder nimmt wieder den natürlichen Zustand an. Der momentan gestörte elektrische Zustand der Maschine nimmt ebenfalls wieder seine frühere Beschaffenheit an.

301. Elektrische Anziehung. Der Fundamentalversuch der Elektricität findet durch vorstehende Thatsache eine einfache Erklärung. Wenn leichte Körper mit einem elektrisirten Körper zusammengebracht werden, so wird die in ihnen enthaltene gebundene Elektricität zersetzt, die Flüssigkeit von derselben Bezeichnung wie die des elektrisirten Körpers wird abgestoßen, die entgegengesetzte Flüssigkeit nebst dem Körper selbst angezogen.

Die anziehende Wirkung ist mehr oder minder stark, je nachdem die Zerlegung der Elektricität mehr oder minder leicht vor sich geht; ein Hollundermarkkügelchen, das der Bewegung der Flüssigkeiten keinen Widerstand entgegensetzt, wird lebhafter angezogen, als eine Wachskugel.

302. Neutralisation der beiden Elektricitäten. Wenn zwei mit entgegengesetzter Elektricität geladene Körper sich bei einander befinden, so bewirkt die Attraction beider Flüssigkeiten zu einander eine Anhäufung auf denjenigen Theilen dieser Körper, die am nächsten bei einander liegen.

Ist die Annäherung beider Körper genügend, so ist die große Spannung an allen denjenigen Punkten, an welchen die Elektricität angehäuft ist, die Ursache, daß die Luftschicht, welche beide Körper trennt, zerrissen wird und beide Flüssigkeiten sich wieder vereinigen. Die Verbindung geht unter Luft- und Wärmeverbindung vor sich. Die Bewegung der Elektricität, welche eine Ausgleichung erzielt, nennt man das Strömen der Elektricität, die bei der Ausgleichung stattfindende Feuererscheinung den elektrischen Funken. Das dabei zu bemerkende Geräusch rührt von der plötzlichen Bewegung der Luft her.

Aus dem, was über den Einfluß eines elektrisirten Körpers auf die Leiter angegeben worden ist, folgt, daß ein Funke auch von einem elektrisirten Körper auf einen im natürlichen Zustande befindlichen überspringen kann. Der Funke kann selbst bei gleichnamig elektrisirten Körpern unter gewissen Umständen wahrgenommen werden.

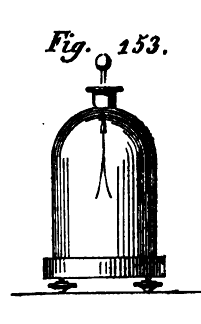
Die Entwickelung dieses Einflusses läßt sich in diesem Falle verfolgen, wenn man den einen Körper dem andern nähert. Die Abstoßung, die anfänglich bei einer gewissen Entfernung merklich ist, wird schärfer in dem Maße, als die Entfernung abnimmt. Bei noch geringerer Entfernung hört sie auf und geht in Anziehung über.

Dieser secundäre Effect ist wohl zu berücksichtigen, wenn die Art der Elektricität, die in einem Körper entwickelt worden ist, durch die Anziehung oder Abstoßung eines elektrisirten Pendels bestimmt werden soll. Man darf den Körper nur nach und nach nähern, damit man die ersten Zeichen der elektrischen Einwirkung, die allein maßgebend sind, wahrnehmen kann.

303. Elektroskope. Die Elektroskope, oder auch Elektrometer genannt, sind Instrumente, durch welche nachgewiesen werden soll, ob ein Körper Elektricität überhaupt, und welche Art derselben er besitzt.

Das einfachste Elektroskop ist das oben erwähnte Hollundermarkpendel. Bei Weitem empfindlicher ist das Goldblattelektroskop (Fig. 153), welches aus zwei gleichlangen Goldblattstreifen besteht, die an dem untern Ende eines glatten Messingdrahtes so aufgehängt sind, daß sie im natürlichen Zustande ihrer ganzen Länge nach sich decken. Der Metalldraht geht durch den oberen Theil einer gläsernen Glocke und endigt oben in eine Kugel. Sobald der Apparat elektrisirt wird, so fangen die Goldblättchen sogleich an zu divergiren; die Divergenz ist um so stärker, je größer die Menge der Elektricität ist. Entfernt man den Körper, so hört die Divergenz auf.

Fig. 153.



Vermittelst dieses Apparates ist man im Stande, auch die Art der Elektricität zu erfahren, wenn man ihn vorher mit einer bekannten Elektricität lud.

Divergiren die so geladenen Blättchen, wenn man den Apparat der elektrisirten Körper nähert, so sind sie mit derselben Elektricität geladen. Nähern sie sich dagegen. so ist die Elektricität des Körpers der der Blättchen entgegengesetzt.

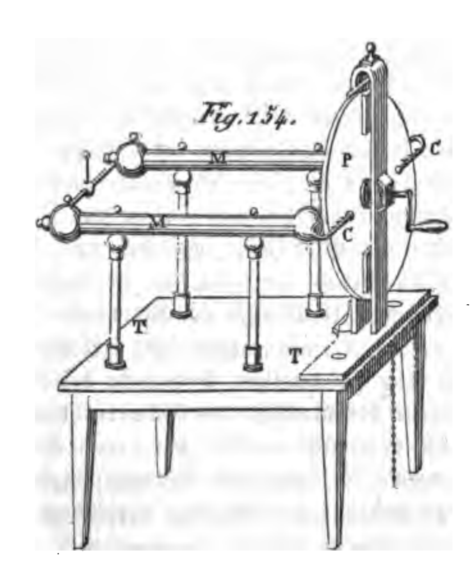
Diese Probe muß unter Beobachtung derselben Vorsichtsmaßregeln angestellt werden, die bei der Probe mit dem Hollundermark-

pendel angegeben worden sind. Die Annäherung der Blättchen könnte sich im Entfernen verwandeln, wenn man den elektrisirten Körper der Kugel des Elektroskopes schnell nähert.

Wenn man das Elektroskop laden will, bringt man den Knopf desselben mit einem elektrisirten Leiter in Berührung, oder, was noch besser ist, man theilt die Elektricität mit einem Glasstabe oder einer Siegellackstange mit, welche mit wollenem Zeuge gerieben worden ist. Wenn man den Metallknopf des Apparates mit dem Finger berührt, während derselbe unter dem Einflusse der Elektricität des Cylinders sich befindet, so geht die gleichnamige Elektricität in den Boden, die andere bleibt in dem Metall und bewirkt die Divergenz der Blättchen, sobald der Einfluß entfernt ist.

Ein anderes Elektroskop enthält statt der Goldblättchen Strohhalme, welche von leicht beweglichen Ringen aus sehr feinem Metalldraht getragen werden.

304. Elektrisirmaschine. Die Elektrisirmaschine wird benutzt, um durch Reibung und Mittheilung größere Mengen von Elektricität zu erzeugen. Sie besteht (Fig. 154) aus einer großen Glas-



scheibe P, welche in der Mitte eine Oeffnung hat, durch welche die mit einer Kurbel versehene Drehaxe geht. Die beiden Flächen die-

ser Scheibe werden beim Drehen gegen elastische, mit Leder bekleidete und mit Pferdehaaren ausgestopfte Kissen gerieben. Bei den gewöhnlichen Maschinen sind zwei Reibzeuge vorhanden, die sich an den beiden Enden des vertikalen Durchmessers der Scheibe befinden.

Das Leder entwickelt beim Reiben auf Glas nur geringe Mengen von Elektricität.

Man hat gefunden, daß es vortheilhaft sei, es mit gewissen Substanzen zu überstreichen. Diejenigen Substanzen, die für diesen Zweck passend gefunden worden sind, sind das Musivgold (eine Verbindung des Schwefels mit Zinn) und ein Amalgam aus Zink und Zinn (häufig wendet man auch ein Amalgam aus 1 Th. Zinn, 2 Th. Blei, 2 Th. Quecksilber an). Diese Substanzen werden mit Fett gemischt und auf das Leder aufgetragen. Indem sie auf dem Glas gerieben werden, nehmen sie negative Elektricität an. Diese Elektricität geht durch die Halter, an welchen die Kissen befindlich sind, und durch den Tisch T, auf dem die Maschine steht, in den Boden.

Einem jeden Reibzeug entspricht ein isolirter Conductor MM, gewöhnlich ein auf Glas ruhender und dadurch isolirter hohler Körper aus Messingblech mit überall abgerundeter und polirter Oberfläche. Auf den Conductor wirkt die positive Elektricität des Glases ein. An den beiden Conductoren der Maschine befinden sich die Arme cc, welche bis in die Nähe der geriebenen Glasfläche reichen und an ihren Enden, den sogenannten Saugern, meist mit Spitzen versehen sind, die der Glasfläche zugekehrt sind. Diese Spitzen begünstigen das Ausfließen der negativen Elektricität der Conductoren nach der positiven Elektricität der Glasscheibe zu. Die beiden Conductoren sind mittelst eines transversalen Cylinders mit einander verbunden. Vor dem jedesmaligen Gebrauche der Maschine müssen das Glasgefäß sowie die Glasfüße des Cylinders durch ein erwärmtes wollenes Tuch abgewischt werden, um davon Staub und Feuchtigkeit zu entfernen, da durch die Leitungsfähigkeit der feuchten Luft eine kräftige Wirkung der Maschine verhindert wird.

Die Anhäufung des elektrischen Fluidums wird durch ein Hollundermarkpendel (Fig. 155) angezeigt, das sich auf einem getheilten Kreise bewegen kann.

Fig 155

Vermittelst dieser Maschine kann man nur die eine Art der Elektricität, nämlich die positive erhalten.

305. Fortsetzung. Von andern Maschinen, welche beide Arten von Elektricität geben, ist die Maschine von Nairne (Fig. 156) anzuführen. Dieselbe besteht aus einem großen Glascylinder D, der in seiner ganzen Länge durch ein Kissen gerieben wird. Das Kissen C steht mit dem Conductor A in Verbindung, welcher eben

Fig. 156.

so wie die Axe des Cylinders isolirt ist. Die negative Elektricität des Kissens geht in diesen Conductor. Ein zweiter isolirter Conductor B, welcher dem ersten parallel steht, nimmt die positive Elektricität des Cylinders auf.

Setzt man den Conductor B mit dem Boden in Verbindung, so ist die Maschine mit negativer Electricität geladen; sie giebt im Gegentheile nur positive Elektricität, wenn man den Conductor A mit dem Boden verbindet.

306. Hydroelektrisirmaschine. Zu der Construction dieser Maschine hat die vor einigen Jahren in England gemachte Entdeckung kräftiger Elektricitätsäußerung an dem Kessel einer Dampfmaschine den Grund gelegt. Diese Maschine besteht im Wesent-

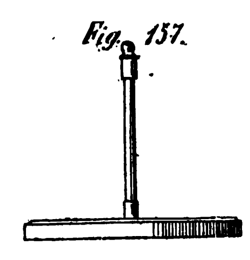
lichen aus einem durch Glasfüße isolirten Dampfkessel, auf welchem sich ein Hut befindet. Auf letzterem ist ein kurzes Rohr angebracht, auf dem sich ein System von Dampfausströmungsröhren festgeschraubt befindet. Der Kessel und der ausströmende Dampf sind stets entgegengesetzt electrisch. Der Dampf ist positiv elektrisch. Um diese Electricität abzuleiten, sind vor den Dampfausströmungsröhren Spitzen angebracht, welche die Elektricität in einen Conduktor unn von da in den Erdboden leiten. Der Kessel erscheint sodann kräftig elektrisch.

Sechsundzwanzigstes Kapitel.

Von der gebundenen Elektricität.

307. Elektrophor. — 308. Condensator. — 309. Franklin'sche Tafel. — 310. Leydner Flasche. — 311. Nutzen der Belegung. — 312. Elektrische Batterie. — 313. Mechanische Wirkungen des elektrischen Stromes. — 314. Elektrisches Flugrad. — 315. Ausdehnung der Flüssigkeiten. — 316. Physikalische Wirkungen des elektrischen Stromes. — 317. Thermische und optische Wirkungen. — 318. Physiologische Wirkungen.

307. Elektrophor. Der Elektrophor hat eben so wie die Elektrisirmaschine den Zweck, Elektricität in größerer Menge zu liefern. Derselbe besteht aus einem Harzkuchen mit möglichst ebener Oberfläche, der sich in einem Teller von Holz oder von Metall befindet, und aus einem leitenden Deckel, der entweder durch seidne Schnuren oder durch einen gläsernen Handgriff isolirt ist (Fig. 157).


Fig. 157.

Die Elektricität wird auf dem Harze durch Schlagen mit einem trocknen Katzenfell entwickelt, und sodann der mit der isolirenden Handhabe versehene Deckel auf das Harz gesetzt. Die Elektricität des Harzes zersetzt die Elektricität des Deckels, zieht die positive Elektricität desselben an und stößt die negative zurück. Diese Elektricität geht in den Boden, sobald man den Deckel mit dem Finger berührt; die im gebundenen Zustande auf der unteren Seite des Deckels befindliche positive Elektricität wird frei, sobald man den Deckel in die Höhe hebt.

Die in dem Harz entwickelte Elektricität wird durch die Affinität dieser Substanz und durch das Isolirvermögen der Luft zurückgehalten. Wenn man den Apparat an einem trocknen Orte aufbe-

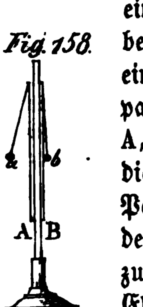
wahrt, so läßt sich die Elektricität auf diese Weise mehrere Monate lang conserviren.

In der neuern Zeit hat man den Harzkuchen des Elektrophors zweckmäßig durch eine dicke Glasplatte ersetzt, die auf ihrer oberen Seite mit einer dünnen Lage von Collodium überzogen worden ist.

308. Condensator. Das Gebundenwerden der Elektricität eines Körpers durch die eines anderen, in entgegengesetztem Sinne elektrisirten, ist mit einer Reaction begleitet, die durch folgenden Apparat augenscheinlich gemacht werden kann.

Dieser Apparat (Fig. 158) besteht aus zwei Metallblättchen A und B von derselben Form und Größe, welche symmetrisch auf einer doppelten Glasplatte von größeren Dimensionen befestigt sind. An jeder dieser Platten befindet sich ein leichtes elektrisches Pendel. Man nähert den Apparat dem Conductor einer Elektrisirmaschine, so daß A, nicht aber B elektrisirt wird. Die Platte A nimmt dieselbe Spannung wie die Elektricitätsquelle an, das Pendel a erhebt sich und sogleich entfernt sich das Pendel b aus der Vertikale. Diese Wirkung ist vorauszusehen; sie rührt von dem Einflusse der positiven Elektricität von A auf die neutrale Flüssigkeit von B her. Sie verschwindet, wenn man A von B entfernt oder sie mit dem Boden in Verbindung setzt. Die beiden einen Augenblick getrennten Flüssigkeiten von B vereinigen sich wieder und die Platte kehrt in ihren natürlichen Zustand zurück.

Fig. 158.



Wenn man dagegen B berührt, während dasselbe mit A verbunden ist, so geht die positive Elektricität, durch die positive Elektricität von A abgestoßen, in den Boden und die negative Elektricität wird latent. Das Pendel B fällt wieder herab, als wenn alle Elektricität aus der Platte B verschwunden wäre; a geht herunter, als ob die Elektricität von A einen Verlust erlitten hätte.

Wenn man die doppelte isolirende Platte trennt, so gerathen die Pendel von Neuem in Bewegung und die Platten zeigen eine entgegengesetzte Elektrisirung. Die beiden Elektricitäten können sich also durch die Glasplatten hindurch neutralisiren und der Einwirkung der ersteren entspricht die Einwirkung der zweiten.

Condensation. Die Spannung der positiven Elektricität von A wird durch diese Reaction vermindert, und diese Platte kann aus

der Quelle eine neue Quantität Elektricität erhalten. Dies ist in der That der Fall. Wenn man A mit dem geladenen Conductor der Maschine in Verbindung setzt, so stellt sich die nämliche Spannung auf allen Theilen, die mit einander in Verbindung stehen, her, die Platte A nimmt ihre ursprüngliche Spannung an und das Pendel a steigt. Die von A erhaltene neue Menge Elektricität wirkt auf die neutrale Flüssigkeit von B, zieht die negative Flüssigkeit nach der isolirenden Platte zu und stößt die positive Elektricität ab. Das Pendel b steigt von Neuem, erreicht aber nie seine frühere Höhe. Durch neue Berührung von B mit dem Boden wird freie Elektricität aufgenommen und dieselbe in einen Zustand anscheinender Neutralität versetzt.

Dadurch, daß man abwechselnd A mit der Quelle, und B mit dem Boden in Verbindung setzt, wird allmählich positive Elektricität auf der ersten Platte, negative Elektricität auf der andern angehäuft. Letztere wird durch erstere vollständig gebunden.

Die Grenze dieser Anhäufung ist gegeben, sobald in Folge dieser abwechselnden Berühungen die Spannung der freien Elektricität von A, die mit jedem Augenblick zunimmt, der Spannung der Quelle gleich geworden ist.

Das Verhältniß zwischen der Totalquantität der Elektricität und der Quantität der freien Elektricität ist in jedem Augenblicke dasselbe.

Bezeichnen wir mit E die Quantität der positiven Elektricität in irgend einem Momente, mit e die Quantität der negativen Elektricität, so sie auf m gebunden hält, mit m den constanten Quotienten $\frac{e}{E}$ *), mit E′ die Quantität der positiven Elektricität, die auf A durch die Einwirkung von e gebunden wird, so haben wir:

$$e = mE \text{ und } E' = me;$$

daraus

$$E' = m^2 E;$$

und folglich:

$$E - E' = (1 - m^2) E,$$

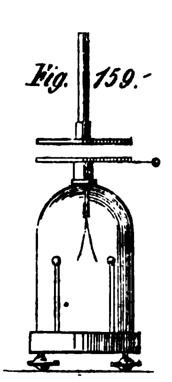
oder

$$\frac{E}{E - E'} = \frac{1}{1 - m^2}.$$

*) m ist von der Entfernung der beiden leitenden Platten von einander und vielleicht auch von der Natur der isolirenden Platten abhängig.

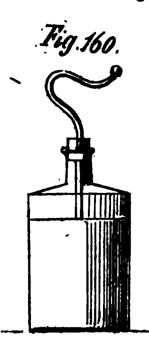
E—E' ist augenscheinlich die Quantität der in A freien Elektricität. Sie ist ein constanter Bruch der Totalmenge. Man sieht ferner, daß E das Maximum erreicht haben wird, sobald die freie Elektricität von A die Spannung der Quelle hat.

Volta's Condensator. Die Empfindlichkeit des Elektroskops (Siehe Seite 242) wird erhöht, wenn man damit einen Condensator in Verbindung setzt. In diesem Fall wird der Metallknopf des Elektroskops durch eine Metallplatte ersetzt (Fig. 159), welche auf der oberen Fläche mit einem dünnen Ueberzuge von Firniß versehen ist. Auf diese Scheibe bringt man einen eben so großen Deckel aus demselben Metalle, der auf seiner unteren Fläche mit Firniß überzogen und mit einer gläsernen Handhabe versehen ist.


Fig. 159.

Um das Elektroskop zu laden, berührt man die untere Scheibe mit dem elektrisirten Körper, während man den Finger auf den oberen Deckel setzt. Die Anhäufung geht vor sich und die Blätter divergiren, wenn man die obere Platte aufhebt. Dieses Elektroskop ist weit empfindlicher als das oben beschriebene Elektroskop, weil sich Elektricität auf der unteren Platte ansammelt, welche Platte man die Collectorplatte nennt.

309. Franklin'sche Tafel. Der einfachste Condensator ist die Franklin'sche Tafel, welche aus einer Glastafel besteht, deren beide Flächen bis auf einen ringsherumgehenden Rand mit Zinnfolie belegt sind. Dieser Condensator wird geladen, indem man die eine Fläche mit der Elektricitätsquelle, die andere mit dem Boden in Verbindung setzt.


Fig. 160.

310. Leydner Flasche. Der zur Erzeugung der hauptsächlichsten elektrischen Wirkungen bestimmte Apparat besteht in einem Glasgefäß oder einer Glasflasche, die auf beiden Seiten bis zu einem gewissen Abstand vom oberen Rande mit Zinnfolie belegt und vermittelst eines mit Lackfirniß überzogenen Korkes verschlossen ist (Fig. 160). Die innere Belegung kann auch durch metallische Feilspäne ersetzt werden. Durch den Kork geht ein Metalldraht, der außen in eine Kugel, innen in eine Spitze endigt. Der Hals und der obere Theil

der Flasche ist gewöhnlich mit Schellack oder mit Gummilack überzogen. Diese Substanzen sind weniger hygroskopisch als das Glas, und isoliren die beiden Elektricitäten weit besser.

Entladen der Leydner Flasche. Die Leydner Flasche wird vollständig entladen, wenn man die eine Kugel des Ausladers oder Excitators (Fig. 161) mit der äußeren Belegung, die andere mit dem Knopf des Metalldrahtes zusammenbringt. Die Entfernung, bis zu welcher die Entladung unter Funken und Knall vor sich geht, ist von der Intensität der Ladung abhängig.

Fig. 161.

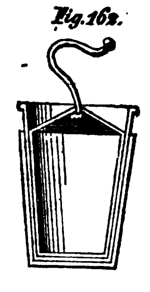
Ein Condensator läßt sich ferner noch entladen, wenn man abwechselnd die eine und die andere Fläche berührt.

Wenn eine geladene Leydner Flasche sich selbst überlassen wird, so entladet sie sich freiwillig in kürzerer oder längerer Zeit, die von dem Feuchtigkeitszustande der Luft abhängig ist.

Die freie Elektricität der inneren Fläche verschwindet zuerst und ihre Spannung vermindert sich; die Elektricität der äußeren Fläche beginnt sodann sich zu äußern und ihre Spannung vermehrt sich. Dieses Fortschreiten in umgekehrter Richtung findet statt, bis in Folge des unaufhörlichen Verlustes die Tension der beiden Seiten gleich geworden sind. Sie nehmen dann gemeinschaftlich ab bis zum vollständigen Verschwinden. Die bei den Belegungen in Verbindung gesetzten Pendel geben durch ihre Bewegungen diese progressive Verminderung der Ladung an und die auf einander folgenden Modificationen.

311. Nutzen der Belegung. Die Belegung hat zum Zweck, die Vertheilung der elektrischen Flüssigkeiten in den Schichten der Oberfläche des Glases zu erleichtern und ihr Entweichen zu begünstigen, wenn man ihre Vereinigung bezweckt.

Fig. 162.



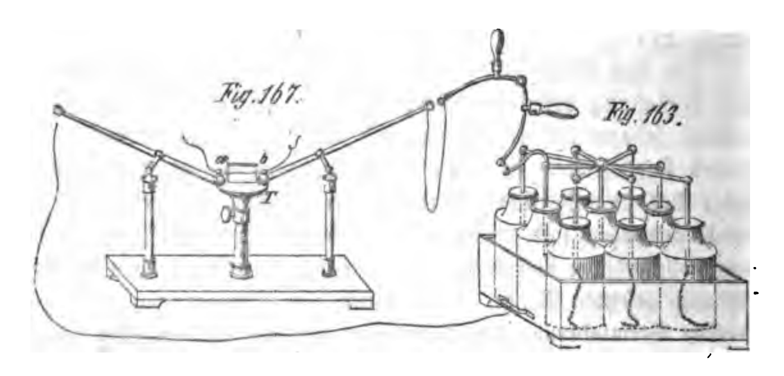
Dieselben Erscheinungen der Condensation und elektrischen Entladung nimmt man wahr, wenn man eine Flasche ohne innere Belegung luftleer macht, oder dieselbe mit Wasser füllt.

Wenn man eine Leydner Flasche mit beweglicher Belegung (Fig. 162) auf die gewöhnliche Weise ladet,

dieselbe darauf aus der innern Belegung herausnimmt und sie vollständig entleert, sodann auch das Glasgefäß aus der äußeren Belegung hebt und dieser auch alle Elektricität nimmt, so findet man, daß, wenn man die Flasche wieder in die äußere Belegung in das Glas setzt und einen Auslader nähert, daß die Flasche noch vollständig geladen ist. Daraus geht hervor, daß die Glaswände der eigentliche Sitz der Elektricität sind, und daß die Belegung nur die Vertheilung und das Ausströmen der Elektricität begünstigen.

Die Condensation der elektrischen Flüssigkeiten auf der Oberfläche des Glases, und die Schwierigkeiten, mit welchen dieselben sich darauf bewegen können, erklären die secundären Entladungen, welche oft wahrzunehmen sind, wenn man eine Leydner Flasche entladen hat.

312. Elektrische Batterie. Die elektrischen Batterien (Fig. 163) bestehen aus einer Vereinigung von Leydner Flaschen, welche letztere



auf beiden Seiten mit Zinnfolie belegt sind. Die Korke, mit denen diese Flaschen verschlossen sind, haben einen Ueberzug von Siegellack und enthalten Metalldrähte, die, wie aus der Zeichnung zu ersehen ist, sich zu einem Ganzen vereinigen. Die äußern Belegungen sind mit einander durch Zinnfolie, mit welcher das Gefäß in dem sich die Batterie befindet, innen überkleidet ist, metallisch verbunden.

Größere Batterien bestehen aus mehrern derartigen Gruppen. Um sie in der möglich kürzesten Zeit mit einer mittelgroßen Maschine zu laden, verbindet man die innere Belegung der ersten Gruppe mit dem Conductor der Elektrisirmaschine, während die äußere Belegung derselben Gruppe mit der innern Belegung der nächstfolgen-

den in Verbindung steht. Die äußere Belegung der letztern Gruppe ist wieder metallisch mit der innern Belegung der nächstfolgenden verbunden, und so fort bis zur letzten Gruppe, deren äußere Belegung mit dem Boden communicirt. Auf diese Weise benutzt man die Elektricität, welche von der äußern Fläche eines jeden Condensators entweicht, wenn die gleichnamige Elektricität sich auf der innern Belegung anhäuft.

Wenn das Pendel der Maschine nicht mehr steigt, wodurch angezeigt wird, daß die erste Batterie relativ gesättigt ist, so unterbricht man die wechselseitige Unterbrechung der Beleguugen und vereinigt die innern Belegungen metallisch. Die äußern Belegungen werden gleichfalls vereinigt und mit dem Boden in leitende Verbindung gesetzt. Einige Umdrehungen der Scheibe der Maschine sind hinreichend, um allen Theilen des Systems eine gleichförmige Ladung zu ertheilen.

Die Elektricität von hoher Spannung, welche aus der Leydner Flasche oder aus den Batterien entweicht, erzeugt verschiedenartige Wirkungen, die je nach der Spannung oder der Quantität der angehäuften Flüssigkeiten verschieden sind. Man unterscheidet mechanische, physikalische und physiologische Wirkungen.

313. Mechanische Wirkungen des elektrischen Stromes. Wenn große Quantitäten entgegengesetzter Elektricitäten auf einmal sich vereinigen, so durchbohren, zerbrechen oder zerreißen sie schlecht leitende Körper, welche der Vereinigung der beiden Elektricitäten sich widersetzen.

Eine zu dünne oder zu stark geladene Leydner Flasche kann auf diese Weise durch die auf den beiden Flächen condensirten Elektricitäten zerbrochen oder durchbohrt werden.

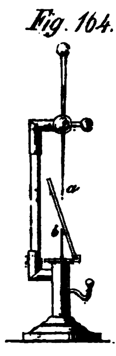


Fig. 164.

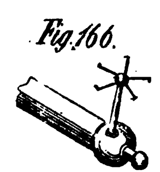
Wenn man ein Kartenblatt zwischen zwei Metallspitzen a und b bringt, die von einander dergestalt isolirt sind (Fig. 164), daß die eine Spitze auf der rechten, die andere auf der linken Seite sich befindet, und zwischen diesen beiden Spitzen eine Entladung bewirkt, so wird die Karte durchbohrt. Die durch die Elektricität bewirkte Oeffnung endigt auf beiden Seiten in kleinen Kegeln; es läßt sich dies durch die Annahme erklären, daß die neutrale Flüssigkeit des Kartenblattes in ihre beiden Bestandtheile

zersetzt, und daß dieselben von der Karte in entgegengesetzter Richtung fortgeschleudert worden seien.

Derselbe Versuch läßt sich auch mit einer Glasplatte anstellen; die Glasplatte muß aber vollkommen trocken und an den den Spitzen gegenüberliegenden Theilen mit etwas Oel befeuchtet sein, wenn der Versuch gelingen soll. Uebrigens ist hierbei eine starke Batterie erforderlich.

314. Elektrisches Flugrad. Das elektrische Flugrad (Fig. 166) zeigt uns ein anders Beispiel der durch die Elektricität hervorgebrachten mechanischen Wirkungen. Dasselbe besteht aus mehreren von einer gemeinsamen Axe ausgehenden Metallstäben, deren zu Spitzen ausgezogene Enden sämmtlich nach der einen Seite hin umgebogen sind. Die Axe wird mit dem Conductor einer Elektrisirmaschine in Verbindung gesetzt. Sobald die Entwickelung der Elektriciät beginnt, findet ein Umdrehen des Rades statt. Die Richtung der Bewegung ist der der aus den Spitzen ausströmenden Elektricität entgegengesetzt. Diese Bewegung läßt sich der abstoßenden Wirkung des elektrischen Fluidums zuschreiben, das sich in der Luft auf die gleichnamige Flüssigkeit verbreitet, welche durch die gebogenen Metallstäbe strömt.

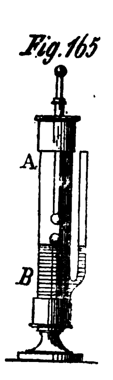
Fig. 166.



315. Ausdehnung der Flüssigkeiten. Der Durchgang der Elektricität durch die Körper vermehrt die Molekularrepulsivkräfte. Es können dadurch mechanische Wirkungen entstehen.

Ein mit Wasser angefüllter Ballon, dessen Wände an zwei Stellen durch Metalldrähte durchbohrt sind, an denen sich Kugeln befinden, wird durch die Expansion der Flüssigkeit sogleich zerbrochen, wenn man durch die Flüssigkeit den elastischen Funken schlagen läßt.

Fig. 165



Auch die Luft, durch welche der elektrische Funke schlägt, erleidet eine beträchtliche Ausdehnung. Es läßt sich dies vermittelst des Thermometers von Kinnersley (Fig. 165) nachweisen.

Dieser Apparat besteht aus einer starken vertikalen Glasröhre AB, die an ihren beiden Enden mit Korken verschlossen ist, durch welche Metalldrähte gehen, die im Innern der Röhre in Kugeln endigen; eine enge offene Röhre communicirt mit der Röhre AB. In bei-

den Röhren befindet sich eine gefärbte Flüssigkeit, die in den beiden Schenkeln gleich hoch steht.

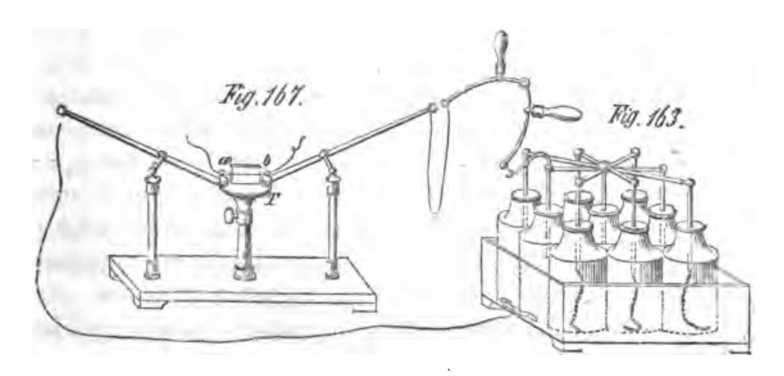
Wenn zwischen den beiden im Innern der Glasröhre befindlichen Kugeln ein Funke überschlägt, so dehnt sich die Luft in der Röhre plötzlich aus und die Flüssigkeit steigt in der engen Röhre.

316. Physikalische Wirkungen des elektrischen Stromes. Die physikalischen Wirkungen des elektrischen Stromes liefern ebenfalls den Beweis von der Neigung der Elektricität, die Molekularrepulsivkräfte zu verstärken, die Attractionskraft aber zu vermindern.

Wenn man ein kleines Metallgefäß, das mit Wasser gefüllt und mit Capillarausflußöffnungen versehen ist, vermittelst einer leitenden Kette an den Conductor einer Maschine hängt, so wird die Flüssigkeit in den Röhren sich zu Tropfen vereinigen, die allmählich größer werden und in ziemlich langen Pausen herabfallen. So wie aber die Scheibe der Maschine in Bewegung gesetzt und dem Conductor Elektricität mitgetheilt wird, so vermindert sich die Größe der Tropfen, sie folgen schnell aufeinander und bald bilden sie einen dünnen Flüssigkeitsstrahl. Nichtsdestoweniger ist die wirkliche Ausflußgeschwindigkeit dieselbe geblieben, nur die Flüssigkeit ist dünnflüssiger geworden.

Das Verdunsten des Wassers wird durch den Einfluß der Elektricität ebenfalls vermehrt; es ist lebhafter noch, als selbst in bewegter Luft.

317. Thermische und optische Wirkungen des elektrischen Stromes. Die thermischen Wirkungen lassen sich leicht vermittelst des allgemeinen Ausladers von Henley (Fig. 167) zeigen. Dieser Apparat besteht aus einem Brett, in welchem sich zwei



Glasfüße eingekittet befinden, die am oberen Ende bewegliche Messinghülsen tragen. Zwei Metalldrähte a und b, die sich in den Messinghülsen verschieben lassen, endigen an beiden Enden in Kugeln. Durch einen hölzernen Fuß läßt sich ein kleiner Tisch T auf- und abschieben. Der zu versuchende Körper wird zwischen die beiden Metalldrähte auf das Tischchen gebracht. Darauf verbindet man die beiden Metalldrähte, den einen mit der äußeren Belegung der Batterie vermittelst einer leitenden Kette, den andern mit Hülfe eines gewöhnlichen Ausladers mit der inneren Belegung.

Wenn man die beiden Kugeln des Apparates, die sich auf dem Tische befinden, vermittelst eines Metalldrahtes mit einander verbindet, so bemerkt man Effecte, die nach der Stärke und nach der Natur des Drahtes verschieden sind, ebenso wie nach der vorhandenen Menge der Elektricität.

Ist der Draht dick und kurz, und wendet man eine gewöhnliche Batterie an, so geht die Elektricität durch den Draht, ohne eine merkliche Veränderung hervorzubringen. Ist der Draht dagegen dünn, so ist dieselbe Menge Elektricität im Stande, ihn zu erwärmen, ihn weißglühend zu machen, oder ihn zu verflüchtigen, je nach dem Material, aus welchem der Draht besteht, und seinem Durchmesser. Ist das Metall oxydirbar, so sind die Erscheinungen des Glühens und des Verflüchtigens in der Luft mit einer Oxydation des Metalles begleitet.

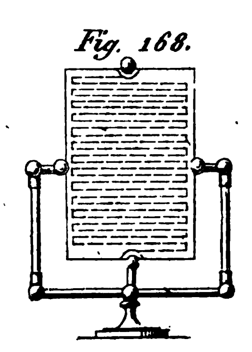
So wird ein sehr dünner Eisendraht durch die Entladung einer elektrischen Batterie in pulverförmiges Oxyd zerstäubt. Ein Golddraht wird dagegen nur in violettes Pulver verwandelt, das als Anflug auf den zunächst liegenden Gegenständen zu bemerken ist.

Die Elektricität pflanzt sich mit außerordentlicher Schnelligkeit in den Molekülen leitender Körper fort, ohne die Moleküle schlecht leitender Körper zu berühren, die mit jenen in Verbindung stehen. Wenn man z. B. die beiden Kugeln des Ausladers mit einem mit Seide übersponnenen Faden verbindet, so wird durch die Entladung das Gold verflüchtigt, die Seide aber nicht einmal zerrissen.

Die Lichteffecte der Elektricität können vermittelst unterbrochener metallischer Leiter hervorgebracht werden. Man bringt zu diesem Zwecke auf der Oberfläche von Condensatoren Zeichnungen an, welche im Augenblick der Entladung beleuchtet erscheinen. Man kann zu diesem Zwecke einen Apparat benutzen, der aus einer Glastafel besteht, auf welcher Stanniolstückchen sehr nahe an einander

so aufgeklebt sind, daß sie mit ihren Enden einander nicht berühren (Fig. 168).

Fig. 168.

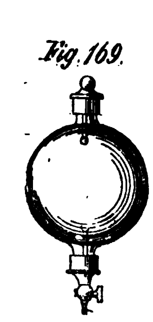


Das elektrische Licht im leeren Raume läßt sich mit Hülfe eines langen Glasrohres beobachten (Fig. 168 bis), das an beiden Enden durch metallische Einfassungen geschlossen ist, durch deren jede ein Metalldraht geht, an dessen Enden sich Kugeln befinden. Wenn man nun das Glasrohr, nachdem es luftleer gemacht worden ist, mit dem Conductor der Maschine in Verbindung setzt und es dabei isolirt erhält, so kann man aus dem, von dem Conductor entferntesten Ende Funken ziehen. Im Dunkeln bemerkt man in dem Glasrohr ein schwaches Leuchten.

Fig. 168 bis

Die Veränderung, welche das elektrische Licht in Folge der Luftverdünnung erleidet, läßt sich sehr gut in dem elektrischen Ei beobachten, das aus einem Glaskolben mit Metallfassungen an beiden Seiten besteht. Auf der einen Seite ist die Metallfassung mit einem Hahn versehen, so daß sie auf den Teller einer Luftpumpe aufgeschraubt werden kann. Die Fassung der andern Seite ist mit einer Lederbüchse versehen, durch die ein mit einem Knopfe versehener Messingdraht geht (Fig. 169), so daß der Knopf dem andern gegenüberstehenden beliebig genähert werden kann. Wenn man den einen der Metalldrähte dem Conductor einer Maschine nähert, während man den andern in der Hand hält, so bemerkt man, daß der elektrische Funke sich um so mehr ausbreitet, je verdünnter die Luft in dem Apparat ist. Ist die Luft fast vollständig entfernt, so strömt die Elektricität leicht über und erfüllt das ganze Gefäß mit violettem Licht.

Fig. 169.



Die verschiedenartigen Färbungen des elektrischen Lichtes schreibt man materiellen Molekülen zu, welche durch die Elektricität mit fortgerissen werden. Zahlreiche constatirte Thatsachen kommen dieser Hypothese zu Hülfe.

Die Art der Elektricität ist auch auf die Lichterscheinungen von Einfluß. Wenn man auf einen mit positiver Elektricität geladnen Conductor eine Spitze auffetzt, so bemerkt man im Dunkeln ein großes, divergentes Lichtbüschel; ist der Conductor dagegen mit negativer Elektricität geladen, so ist nur ein schwacher Schein oder ein leuchtender Punkt wahrzunehmen.

318. Physiologische Wirkungen des elektrischen Stromes. Der menschliche Körper ist ein sehr guter Leiter der Elektricität. Der Versuch zeigt, daß sehr große Quantitäten von Elektricität durch den Körper strömen können, ohne auf die Organe den mindesten Einfluß auszuüben. Wenn der Körper aber als Conductor großen Mengen entgegengesetzter Elektricitäten dient, die sich plötzlich vereinigen, so erleiden die Organe einen mehr oder minder lebhaften Eindruck. Wenn man eine Leydner Flasche dadurch entleert, daß man beide Belegungen berührt, so nimmt man eine heftige Erschütterung wahr. Der Schlag kann von mehreren Personen zu gleicher Zeit wahrgenommen werden, wenn dieselben vermittelst eines Metallseiles mit einander verbunden sind, oder sich einander die Hände reichen. In dem Augenblicke, in welchem die erste und die letzte Person, welche die Kette bilden, die Belegungen der Batterie berühren, findet die Entladung statt.

Es ist kaum nöthig zu bemerken, daß diese Wirkungen mit der Intensität der Ladung, den Körpertheilen, welche direct berührt werden, und auch mit dem Temperament der Individuen variiren.

In jedem Falle ist die Entladung eines stark geladenen Condensators mit großer Oberfläche nicht ohne Gefahr.

Siebenundzwanzigstes Kapitel.

Von der atmosphärischen Elektricität.

319. Vergleichung des Blitzes mit dem elektrischen Funken. — 320. Diffuse Elektricität in der Atmosphäre. — 321. Elektrische Wolken. — 322. Blitzableiter. — 323. Nutzen der Spitzen. 324. Rückschlag.

319. Vergleichung des Blitzes mit dem elektrischen Funken. Die Analogie der Wirkungen des elektrischen Funkens mit denen des Blitzes führte Franklin auf die Vermuthung der Identität der beiden Ursachen. Die von ihm und andern Physikern angestellten Versuche erhoben diese Vermuthung zur Gewißheit und zeigten, daß die unter dem Namen Blitz bekannte Lufterscheinung elektrischer Art sei.

Die Substanz des Blitzes, aus den Wolken vermittelst metallener Spitzen mit Hülfe eines Drachens herabgeleitet, ließ sich der Elektricität der Maschinen vergleichen. Eben so wie die letztere bewirkte die herabgeleitete Substanz die Zersetzung der neutralen Flüssigkeit auf leitende Körper, sie lud Condensatoren, die Goldblättchen des Elektroskopes wurden durch dieselbe von einander entfernt oder einander genähert, kurz sie brachte alle dieselben Erscheinungen hervor und vereinigte alle Charaktere in sich, die wir an dem elektrischen Fluidum beobachten.

Diese Versuche dürfen nicht ohne die größte Vorsicht angestellt werden. Charles, ein berühmter Physiker, der gegen das Ende des vorigen Jahrhunderts lebte, wickelte das Ende des Seiles, an welchem der Drache befestigt war, um eine Winde, die durch eine gläserne Kurbel gedreht werden konnte. Das Seil bestand aus mit Seide durchwirktem Metalldraht, und endigte unten in eine seidene Schnur. Zwischen dem Beobachter und dem leitenden Ende des Seiles befand sich eine eiserne Stange, welche tief in die Erde führte und oben in einer Kugel endigte. Da das elektrische Fluidum

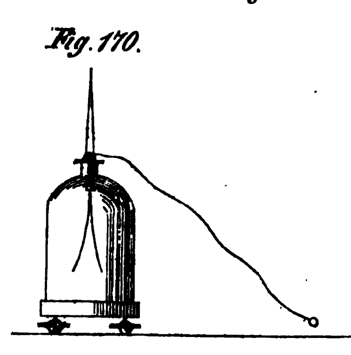
bei gleichen Entfernungen stets den besten Leiter aussucht, so hatte der Experimentator nichts zu fürchten, so lange sich zwischen ihm und der Elektricitätsquelle die eiserne Stange befand.

In Folge diesen Vorsichtsmaßregeln war Charles im Stande, aus der Schnur seines Drachens Funken von mehreren Metern Länge zu ziehen und auf diese Weise eine vergleichende Untersuchung zwischen der Elektricität und der Materie, die den Blitz hervorbringt, anzustellen.

320. Diffuse Elektricität in der Atmosphäre. Bei stürmischem Wetter scheint sich in den Wolken die Elektricität zu condensiren und anzuhäufen, die bei hellem Himmel sich in der Atmosphäre verbreitet.

Von dem elektrischen Zustande der Wolken kann man sich überzeugen, indem man eine Metallkugel, die mit einer leitenden Schnur in Verbindung steht, welche letztere mit dem andern Ende um den Metalldraht eines Goldblattelektrometers gewickelt ist, in die Höhe wirft (Fig. 170). Die Goldblätter divergiren in dem Maße, als die Kugel in die Höhe steigt, und man findet, daß die Goldblätter mit positiver Elektricität geladen werden. Dieser Versuch ist zuerst von Saussure angestellt worden. Vor einigen Jahren wurde derselbe Versuch auf dem St. Bernhard und zwar mit denselben Resultaten wiederholt, daß nämlich die atmosphärische Elektricität bei heiterem Himmel positiv ist, und daß ihre Spannung mit der Höhe wächst.

Fig. 170.

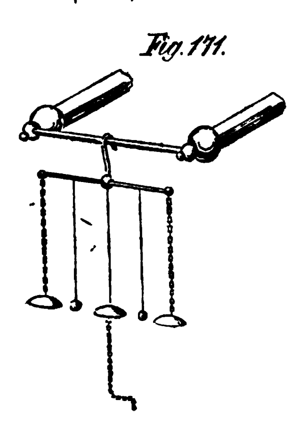


Es stimmen diese Beobachtungen mit denen Gay-Lussacs, der die seinigen in einer Höhe von mehr als 4000 Metern anstellte, überein.

Um die Veränderungen des elektrischen Zustandes der Atmosphäre in den der Erde zunächst liegenden Schichten zu studiren, befestige man auf dem Hause, das als Observatorium dienen soll, auf der obersten Stelle des Daches einen Metallstab, an dessen unterem Ende eine Handhabe von mit Harz überzogenem Glas befindlich ist. Ein Metalldraht verbindet den unteren Theil des Ziegels, in welchem der Stab befestigt ist, mit einem Elektroskop. Um den Beob-

achter vollkommen zu schützen, bringt man in geringer Entfernung von dem unteren Ende des Stabes eine Metallkugel an, an welcher sich eine leitende Schnur befindet, die längs des Gebäudes herabgeht und in einem Brunnen oder in dem feuchten Boden endigt.

Die Gegenwart stark elektrisirter Wolken über dem Metallstab kann dem Beobachter durch das Läuten eines kleinen Apparates angezeigt werden, welcher unter dem Namen des elektrischen Glockenspieles bekannt ist. Dieser Apparat (Fig. 171) besteht aus drei Glocken, welche, wie aus der Figur hervorgeht, an gleich langen Fäden aufgehängt sind; die beiden äußeren Glocken sind an Metallfäden, die mittlere an einem Seidenfaden aufgehängt. Letztere Glocke steht mit dem Boden in Verbindung. Zwei Metallkugeln befinden sich an Seidenfäden aufgehängt zwischen den in der Mitte befindlichen Glocken. Der Apparat wird vermittelst eines Metallhakens an einen mit Elektricität geladenen Conductor gehängt, die Glocken werden dadurch elektrisirt, ziehen die im natürlichen Zustande befindlichen Kugeln an, theilen denselben ihre Elektricität mit und stoßen sie ab, so daß sie die mittlere Glocke berühren und derselben ihre Elektricität mittheilen. Die Kugeln werden von Neuem angezogen, darauf abgestoßen u. s. f. Da die Kugeln periodisch an die Glocken anschlagen, so wird dadurch dem Beobachter die Gegenwart einer elektrischen Wolke signalisirt.


Fig. 171.

Variationen der atmosphärischen Elektricität. Beobachtungen, die mit der in den der Erdoberfläche zunächst befindlichen Luftschichten enthaltenen Elektricität angestellt worden sind, zeigen regelmäßige Variationen in dem elektrischen Zustand der Atmosphäre. Nebliges oder schneeiges Wetter zeigen nichts Regelmäßiges; die Elektricität geht schnell von der positiven in die negative über. Aehnliche Variationen sind bei stürmischem Wetter wahrzunehmen.

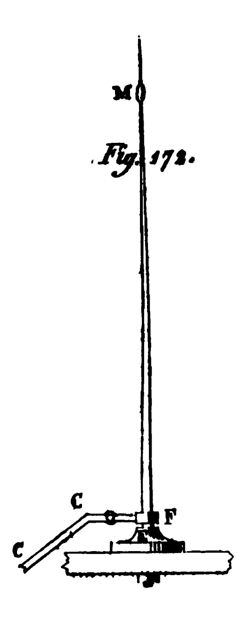
321. Elektrische Wolken. Wolken, in welchen der Blitz entsteht, gehören zu derjenigen Art, die man Cumuli (vergl. S. 171) nennt. Diese Wolken bestehen aus condensirten Dampfbläschen und sind als wirkliche mit Elektricität geladene Conductoren zu betrach-

ten. Von den Conductoren unserer Maschinen unterscheiden sich aber diese Wolken dadurch, daß die Elektricität sich nicht nur auf der Oberfläche derselben befindet, sondern auch im Innern auf den Dampfbläschen verbreitet ist. Diese Vertheilung der Elektricität ist die Ursache, daß eine Wolke sich mehrmals nach einander entladen kann.

Der Einfluß einer elektrisirten Wolke auf benachbarte Wolken oder auf der Erdoberfläche befindliche Körper bringt in den letzteren entgegengesetzt elektrische Zustände hervor. Ist die Wolke z. B. positiv elektrisirt, so ruft sie auf den genannten Körpern negative Elektricität hervor.

Der Blitz entsteht durch die plötzliche Vereinigung der Elektricität der Wolken mit der entgegengesetzten Elektricität der genannten Körper. Die durch diese Verbindung in der Luft hervorgerufene Erschütterung erzeugt den Donner. Die flexible und wenig consistente Natur der Leiter, zwischen welchen der Funke überspringt, ist wahrscheinlich nicht ohne Einfluß auf den eigenthümlichen Charakter des Donners.

322. Blitzableiter. Der von B. Franklin ausgedachte Blitzableiter hat die Bestimmung, einen das Gebäude treffenden Blitz ohne Beschädigung des Gebäudes an demselben herabzuführen, und gründet sich auf die Beobachtung, daß der Blitz vorzugsweise die höchsten und die am besten leitenden Körper trifft.



Der Blitzableiter besteht aus zwei Theilen, der Auffangsstange und der Ableitung. Die Auffangsstange erhebt sich vertikal in die Höhe und besteht aus einer eisernen Stange, die bei einem Gebäude die höchsten Spitzen überragt und an ihrer Spitze in einem conischen kupfernen Stab endigt, an welchem sich eine vergoldete oder platinene Spitze befindet. Diese Spitze ist auf das Kupfer vermittelst Silber gelöthet und durch eine kleine kupferne Hülle M (Fig. 172) umgeben.

Am unteren Ende der Auffangsstange, ungefähr 8 Centimeter vom Dach entfernt, ist eine Art umgekehrter Trichter aufgelöthet. Derselbe hat die Bestimmung, das

an der Auffangsstange herabrinnende Regenwasser, das in das Innere des Gebäudes einsickern könnte, aufzufangen.

Unmittelbar darüber befindet sich ein Charnier F, an welchem die Ableitung befestigt ist. Die Ableitung besteht entweder aus zusammengelötheten Eisenstangen oder aus einer Schnur zusammengeflochtener Kupferdrähte. Sie steigt parallel mit dem Dach herab und wird dann an der Mauer herunter geführt.

50—55 Centimeter unter der Erdoberfläche ist die Leitstange perpendiculär zur Mauer gebogen, geht sodann in einer Länge 4—5 Meter horizontal fort und endigt in einem Brunnen oder in einem Loche, das in die Erde in einer Tiefe von 5— 6 Metern gegraben worden ist.

Um die Oxydation des Metalles der Leitstange in dem feuchten Erdreich zu verhindern, welche das Leitungsvermögen schwächen und zu Unglücksfällen Veranlassung geben könnte, führt man die Leitungsstange in ein mit Ziegeln ausgemauertes Loch, das mit ausgeglühter Holzkohle ausgefüllt ist. Die Erfahrung hat gezeigt, daß das mit Kohlen umgebene Eisen nicht im geringsten verändert wird. Die Kohle nützt aber nicht allein dadurch, daß sie das Rosten des Eisens verhindert, sondern auch, daß sie die Elektricität gut leitet und die Zerstreuung derselben in den Boden befördert. Im trocknen Erdreich kann die geglühte Kohle sogar die Feuchtigkeit des Bodens ersetzen, wenn man die Leitstange in mehrere Arme verzweigt.

Der Blitzableiter muß sich auf den höchsten Theilen des Gebäudes befinden; wenn auf dem Dache oder der Außenseite des Gebäudes metallene Gegenstände befindlich sind, so müssen dieselben zur Verhütung von Leiterentladungen mit der Leitstange metallisch verbunden werden. Außerdem schreibt man vor, wenn auf einem Gebäude mehrere Blitzableiter befindlich sind, die Leitstangen derselben zu verbinden, damit das Fluidum vertheilt und noch abgeleitet werde, wenn auch einer der Blitzableiter defect sein sollte.

Aus einer großen Anzahl von Beobachtungen ist hervorgegangen, daß ein Blitzableiter einen Umkreis von ungefähr zwanzig Metern Radius schützt. Nach dieser empirischen Regel schätzt man die Entfernungen zwischen zwei Auffangstangen auf einem Gebäude, welches mehr als eine erhalten soll.

Enthält aber das Gebäude große Quantitäten von Metall, oder handelt es sich um ein Pulvermagazin, so ist es rathsam, sich unter

dieser Grenze zu halten. Außerdem ist es gut, mit den vertikalen Auffangstangen noch solche zu verbinden, welche in der gewöhnlichen Richtung der Stürme geneigt sind. Dieser Zusatz ist unerläßlich, wenn das Gebäude isolirt steht und sehr hoch ist.

323. Nutzen der Spitzen. Es ist kaum nöthig, über den Nutzen, Blitzableiter in eine Spitze endigen zu lassen, etwas zu sagen. Die Theorie giebt es an und die Erfahrung hat es bestätigt.

Wenn man in geringer Entfernung von dem Conductor einer Elektrisirmaschine eine Metallspitze bringt, welche in Verbindung mit dem Boden steht, so findet man, daß der Conductor sich nicht ladet, wie schnell man auch die Scheibe drehen möge. Ersetzt man die Spitze durch eine Kugel, so findet man, daß das Pendel der Maschine schnell steigt, und bei jedem Funken, der aus dem Conductor in die Kugel überspringt, fällt.

Dasselbe folgt aus direkten Versuchen Beccaria's über die Elektricität der Wolken.

Dieser Physiker hatte auf der Auffangsstange auf seinem Observatorium eine bewegliche Spitze befestigt, die beliebig nach dem Himmel oder nach der Erde zu vermittelst einer damit verbundenen Seidenschnur bewegt werden konnte.

Sobald die Spitze nach der Erde zugekehrt war, gab der Apparat keine Funken; dieselben waren aber sogleich zu bemerken, so bald die Spitze dem Himmel zugekehrt wurde.

324. Rückschlag. Der Blitz ist das Resultat der augenblicklichen Verbindung der Elektricität einer Gewitterwolke mit der entgegengesetzten Elektricität, welche durch Vertheilung auf den auf der Erdoberfläche befindlichen Körpern hervorgerufen worden ist.

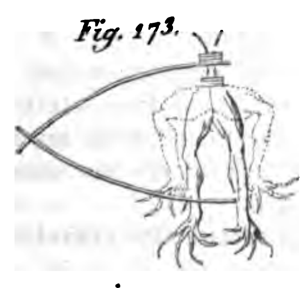
Diese plötzliche Vereinigung des Fluidums der Wolken ist zuweilen von einer secundären Erscheinung begleitet, welche unter dem Namen des Rückschlages bekannt ist. Diese Erscheinung besteht darin, daß ein von dem einen Ende einer Gewitterwolke herabfahrender Blitz einen zweiten von der Erde nach dem andern Ende der Wolke hin hervorruft.

Achtundzwanzigstes Kapitel.

Ueber Galvanismus.

325. Galvani's Versuch. — 326. Galvanismus. — 327. Hypothese von Volta. — 328. Voltaische Säule. — 329. Wollastons Batterie. — 230. Daniells und Groves Batterie. — 331. Bunsens Kohlenbatterie. — 332. Smee's und Wheatstone's Batterie. — 333. Trockne Säulen. — 334. Bohnenbergers Elektroskop. — 335. Thermische und optische Wirkungen des galvanischen Stromes. — 336. Physiologische Wirkungen. — 337. Chemische Wirkungen. — 338. Magnetische Wirkungen. — 339. Inducirende Wirkungen.

325. Galvani's Versuch. Aloysius Galvani, Professor der Anatomie in Bologna, bemerkte, daß in den Schenkeln eines unlängst getödteten Frosches Zuckungen entstanden, als in der Nähe eine Elektrisirmaschine entladen wurde. Als er ferner präparirte Froschschenkel vermittelst kupferner Haken an einem eisernen Gitter aufhing (Fig. 173), fand er ebenfalls dieselben Muskelcontractionen. Galvani glaubte in diesen Versuchen den Beweis der Existenz einer doppelten thierischen Elektricität zu sehen, die in den Muskeln und den Nerven des Frosches verbreitet sei, die sich ebenso wie die entgegengesetzten Elektricitäten einer Leydner Flasche, vermittelst des Metalles vereinige. Die Zuckungen seien eine Folge der sich ausgleichenden Elektricitäten.


Fig. 173.

326. Galvanismus. Alexander Volta, Professor in Pavia, wiederholte die Versuche Galvani's und wurde zu einer andern Ansicht über diese Versuche geführt. Zuerst zeigte er, daß an dem Froschkörper wenig oder keine Zuckungen wahrzunehmen seien, wenn das Metall homogen war, die Erscheinung aber constanter und

leichter hervorzurufen sei, wenn man verschiedenartige Metalle anwendete. Daraus zog Volta den Schluß, daß die Verschiedenartigkeit zweier sich berührenden Metalle die wesentlichste Bedingung sei. Er bewies ferner, daß bei der Berührung die neutrale Flüssigkeit zersetzt werde, daß die beiden Metalle sich in die Elektricitäten theilen, daß endlich der Froschkörper nicht Erreger der Elektricität, sondern nur der Leiter derselben sei.

Die Versuche Volta's können auf folgende Weise wiederholt werden.

Man nehme zwei genau auf einander passende Scheiben von Kupfer und Zink, von denen eine jede mit einem isolirenden Griffe versehen ist, setze sie auf einander und trenne sie rasch. Berührt man darauf mit einer dieser Scheiben die Collectorplatte des Condensators, so werden nach mehrmaliger Berührung die Goldblättchen divergiren; wendet man abwechselnd die eine und die andere Scheibe an, so läßt sich nachweisen, daß beide entgegengesetzt elektrisirt sind.

Die nämlichen Resultate erhält man, wenn man die Collectorplatte eines Elektroskopes mit dem Kupfer einer Kupfer-Zinkplatte berührt (Fig. 174), von welcher man das Zink in der Hand hält. Dieser Versuch gelingt besser als der vorhergehende.

Fig. 174.

ZINK

KUPFER

Der Name Galvanismus oder galvanische Elektricität drückt nur einen besonderen Fall des Ueberganges beider Elektricitäten zu einander und der dadurch bewirkten wechselseitigen Ausgleichung aus.

327. Hypothese von Volta. Volta schrieb die unzweideutigen Zeichen der Elektricität, die bei der Berührung zweier Metalle wahrgenommen werden, einer durch die Berührung selbst entwickelten elektromotorischen Kraft zu. Diese Kraft bewirkt, daß sich auf dem Zink positive Elektricität, auf dem Kupfer negative Elektricität ansammelt.

Zwei entgegengesetzte elektromotorische Kräfte heben sich gegenseitig in ihren Wirkungen auf, so ist eine Platte, die aus drei Theilen, nämlich aus Kupfer, Zink, Kupfer besteht, und zwar in der angegebenen Reihenfolge auf einander gelöthet, vollständig unwirksam.

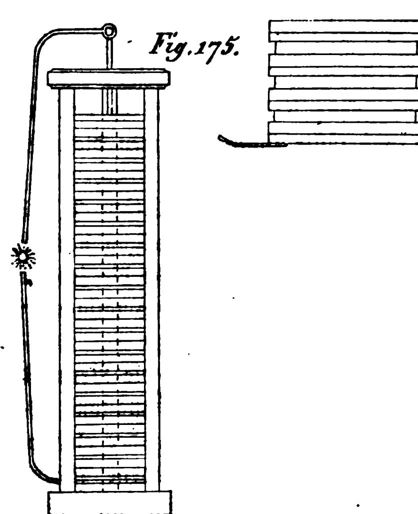
Wenn man die kupferne Hälfte der doppelten Zink-Kupferplatte in der Hand hält, während man die Zinkhälfte mit der Collectorplatte des kupfernen Elektrometers in Berührung bringt, so bemerkt

man keine Elektricität. Die Goldblättchen divergiren aber sogleich, sobald man zwischen das Kupfer der Collectorplatte und das Zink ein Stückchen befeuchtetes Papier oder Leinwand bringt. Das Elektroskop wird positiv elektrisirt.

Volta zog daraus den Schluß, daß bei der Berührung von Flüssigkeiten mit Metallen keine elektromotorische Kraft entwickelt werde, er nannte die ersteren Leiter, die zweiten Elektromotoren.

Volta machte ferner die Bemerkung, daß die elektromotorische Wirkung unabhängig von dem elektrischen Zustande der Platten ausgeübt werde, daß sie die nämliche zwischen zwei mit derselben Elektricität geladenen Platten von Zink und Kupfer, wie zwischen zwei im natürlichen Zustande befindlichen Platten sei. Die durch die elektromotorische Kraft entwickelte Elektricität tritt mit seinem Zeichen auf jeder Platte zu der daselbst schon vorhandenen Elektricität.

328. Voltaische Säule. Aus diesen Versuchen und Hypothesen folgerte Volta, daß, wenn man mehrere elementare Paare (Elemente) in der nämlichen Ordnung durch leitende Substanzen und durch Papier oder feuchtes Tuch mit einander verbände, die Elektricität von einem jeden dieser Elemente durch den dazwischen liegenden Leiter bis zum letzten Element geführt werden würde, so daß mit der Elektricität dieses Elementes die gleichnamige Elektricität aller vorhergehenden Plattenpaare vereinigt werden müsse.


Fig. 175.

Der Versuch hat diese theoretischen Ansichten bestätigt. Bei der aus einer Anzahl Platten aus Kupfer und Zink und mit Salzwasser oder mit verdünnter Säure befeuchteten Tuchläppchen construirten Säule (Fig. 175) bemerkt man an den beiden Enden alle Erscheinungen elektrischer Spannung. Die Quantitäten der an den beiden Enden der Säule befindlichen entgegengesetzten Elektricitäten nehmen mit der Anzahl der Plattenpaare zu.

Das mit positiver Elektricität geladene Ende der Säule führt den Namen **positiver Pol**, das mit entgegengesetzter Elektricität geladene den Namen **negativer Pol**.

Wenn man die beiden Pole der Säule vermittelst eines Leitdrathes verbindet, mit andern Worten: **die Kette schließt**, so findet man, daß die beiden Flüssigkeiten unaufhörlich durch den Draht gegen einander strömen. Man bezeichnet dieß mit dem Namen **Voltaischer Strom**.

Wir beschreiben am Ende dieses Kapitels die thermischen und optischen Wirkungen des Voltaischen Stromes, die physiologischen Wirkungen, die chemischen, die magnetischen und die inducirenden Wirkungen.

329. Wollastons Batterie. Dieser Apparat (Fig. 177) ist in der That nur eine Modification der Voltaischen Säule. Er besteht aus einer Anzahl Zink- und Kupferplatten, die an einander gelöthet sind, so daß das Kupfer des einen Elementes das Zink

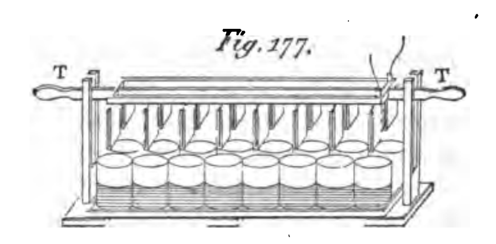


Fig. 177.

des anderen Elementes umgiebt, ohne dasselbe jedoch zu berühren. Mit verdünnter Schwefelsäure angefüllte Gläser nehmen diese Elemente auf.

Die Plattenpaare sind an einem horizontalen Stabe T T befestigt. Diese Vorrichtung gestattet, die chemische Wirkung nach Belieben zu unterbrechen und wieder anzufangen, und so die intensive Elektricitätsentwickelung zu benutzen, welche beim jedesmaligen Eintauchen der Elemente in die Säure stattfindet.

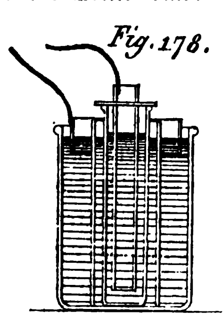
Die fortwährenden Variationen der Intensität, die Verminderung und endlich das Aufhören des Stromes in Wollastons Batterie rühren nach **Daniell** davon her, daß in Folge der elektrolytischen Kraft des Stromes (siehe unten) das entstandene schwefelsaure Zinkoxyd zersetzt wird und das reducirte Zink sich an der Oberfläche der Kupferelemente absetzt. Die Plattenpaare sind als-

dann nicht mehr binäre Anordnungen und die Wirkung der Batterie nimmt immer mehr und mehr ab.

330. Daniells und Groves Batterie. Die im Nachstehenden beschriebenen Säulen zeigen diese Uebelstände nicht und sind von constanter Wirkung; man nennt dieselben constante Batterien. Bei diesen Batterien ist die saure Flüssigkeit, welche das elektromotorische Metall (das Zink) umgiebt und sehr bald schwefelsaures Zinkoxyd enthält, von der Flüssigkeit, welche das leitende Metall (das Kupfer) umgiebt, durch eine poröse Scheidewand, durch ein Diaphragma, getrennt. Dieses letztere, meist eine Thonzelle, gestattet den durch den elektrischen Strom mit fortgerissenen Flüssigkeiten den Durchgang, nicht aber den unwirksamen Flüssigkeiten.

Die Anordnung der Daniell'schen Säule ist folgende.

Das wirksame Element besteht aus einem Cylinder oder einer Stange von amalgamirtem Zink, welches in der Axe eines cylindrischen, porösen, mit verdünnter Schwefelsäure angefüllten Thoncylinders aufgehängt wird (Fig. 178). Dieses Gefäß befindet sich in der Mitte eines kupfernen Cylinders, der eine concentrirte Lösung von schwefelsaurem Kupferoxyd enthält. Um diese Lösung gesättigt zu erhalten, befindet sich in den oberen Schichten dieser Lösung ein Sieb mit Kupfervitriolkrystallen.


Fig. 178.

Jeder Zinkcylinder ist mit dem Kupfergefäß des folgenden Paares durch einen Draht verbunden.

Die chemische Wirkung ist erst nach der Vereinigung der Elemente zu bemerken; der sich erzeugende Strom zersetzt das Wasser und das schwefelsaure Kupferoxyd, führt den Sauerstoff und die Schwefelsäure durch das Diaphragma hindurch zu dem Zink, während der Wasserstoff und das Kupferoxyd nach dem Kupfer gehen. Der Wasserstoff reducirt das Kupferoxyd und das reducirte Metall setzt sich auf der Oberfläche des leitenden Metalls ab, so daß dieselbe fortwährend erneuert wird.

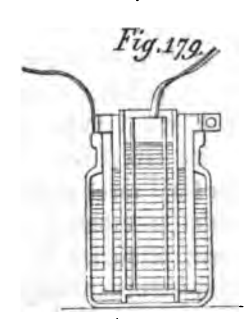
Die Intensität des Stromes kann mehrere Stunden lang constant erhalten werden. Die Grove'sche Batterie oder constante Platinkette besteht aus amalgamirtem Zink und aus Platin. Die Zinkplatte ist so gebogen, daß sie eine Zelle bildet, die oben und an beiden Seiten offen ist. In derselben ist ein rechtwinkliger Trog

von porösem Thon, der mit Salpetersäure angefüllt ist. An dem hervorstehenden Ende der Zinkplatte befindet sich ein Platinblech, das in die Thonzelle des vorigen Paares hinabhängt. Jede Zinkplatte mit ihrer Thonzelle ist in einem mit verdünnter Schwefelsäure angefüllten Gefäße von Glas enthalten.

Der durch Auflösen des Zinkes in der verdünnten Schwefelsäure entwickelte Wasserstoff wird sofort durch die Salpetersäure oxydirt. Die hierbei entstehende gasförmige salpetrige Säure entweicht gasförmig.

331. Bunsens Kohlenbatterie. Diese Batterie (Fig. 179) zeichnet sich durch die Intensität ihrer Wirkung und durch die Einfachheit ihrer Construction aus.

Bei dieser Batterie ist die Schwefelsäure, welche auf das amalgamirte Zink einwirken soll, von der andern Flüssigkeit ebenfalls durch einen Thoncylinder getrennt. Letzterer ist mit einem Kohlencylinder umgeben, der an beiden Seiten offen und an der Seitenfläche mit kleinen Oeffnungen versehen ist. Die Kohle spielt hierbei die Rolle des leitenden Metalles der vorstehenden Batterien; sie steht mit dem Zink des nächsten Elementes in Verbindung. Die Kohle befindet sich in einem mit Salpetersäure gefüllten Glasgefäße; die Salpetersäure soll den durch die Zersetzung des Wassers frei werdenden Wasserstoff oxydiren, der sonst auf die Kohle gehen und einen Theil der Wirkung neutralisiren würde.


Fig. 179.

Eine Abänderung der Kohlenbatterie, die in der neuern Zeit mit derselben getroffen worden ist, ist in der That nichts anders, als eine umgekehrte Anordnung der sie zusammensetzenden Elemente. Die Schwefelsäure ist in dem äußern Glasgefäße enthalten, der poröse Thoncylinder ist mit einem Ring von amalgamirtem Zink umgeben und enthält die Salpetersäure und den hohlen Kohlencylinder. Der Kohlencylinder wird vermittelst Kupfer mit dem Zink verbunden.

332. Smee's und Wheatstone's Batterie. Die erstere Batterie besteht aus einer mit fein zertheiltem Platin überzogenen Silberplatte, die zwischen zwei amalgamirte Zinkplatten gestellt ist. Die Platten tauchen ohne Diaphragma in verdünnte Schwefelsäure.

Um die Berührung von Platin und Zink zu verhüten, befinden sich zwischen den Platten Polster aus Gutta Percha.

Die Batterie von Wheatstone ist nur eine Modification der von Daniell. Es fällt die verdünnte Schwefelsäure hinweg und die poröse Thonzelle wird mit flüssigem Zinkamalgam gefüllt, in welche das Kupferende des nächstfolgenden Elementes eintaucht.

333. Trockne Säulen. Mit diesem Namen bezeichnet man diejenigen elektromotorischen Apparate, in welchen eine ununterbrochene Entwickelung von Elektricität ohne Mitwirknug einer Flüssigkeit stattfindet.

Die trocknen Säulen bestehen aus Zink und Mangansuperoxyd (Braunstein) welche von dem nächsten Elemente durch eine Papierscheibe getrennt sind.

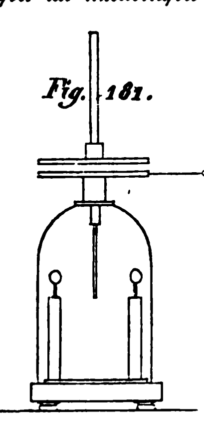
Man klebt auf die eine Seite eines Blattes Papier ein Blättchen Zink oder Zinn, auf die andere dagegen klebt man gepulvertes Mangansuperoxyd. Das so präparirte Papier wird in gleich große Scheiben geschnitten, die man in der nämlichen Ordnung über einander legt. Man schichtet so mehrere Tausend dieser Blätter über einander, preßt sie dann zusammen und überzieht die Säule, um sie vor dem Einflusse der Luft zu schützen, mit Harz oder mit Schwefel. Bisweilen theilt man diese Säulen in zwei gleiche Theile, die man auf einer metallischen Unterlage vertikal umgekehrt neben einander stellt. Auf diese Weise sind die beiden Pole in gleicher Höhe. Das positive Ende der Säule wird mit einer dicken Zinkscheibe, das negative mit einer dicken Kupferscheibe verbunden.

Man stellt auch trockne Säulen aus Zink-Kupferelementen dar, welche durch Scheiben aus geöltem oder mit Honig oder einer Lösung eines zerfließlichen Salzes getränkten Papieres getrennt sind. Diese Art Säulen sind bei Weitem nicht so haltbar, als die vorstehend beschriebenen, welche ihre eleklromotorische Kraft jahrelang behalten können.

Die Bewegung der Elektricität ist in den trocknen Säulen eine sehr langsame; es bedarf mehrerer Minuten, um einen Condensator mit der Elektricität dieser Säulen zu laden; sie zeigen weder physiologische noch chemische Wirkungen. Die Spannung dagegen ist stärker als bei den gewöhnlichen Säulen von gleicher Dimension, was von der großen Anzahl und der schlechten Leitungsfähigkeit der Elemente herrührt.

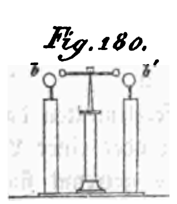
334. Bohnenbergers Elektroskop. Die Säule wird zur

Construction des Elektroskops von Bohnenberger benutzt. In diesem Instrument ist das doppelte Goldblättchen durch einfaches Goldblättchen ersetzt, das sich in gleichen Entfernungen zwischen den Polen der trocknen Säule befindet (Fig. 181). Wenn sich das Blättchen im natürlichen Zustande befindet, so wird es von den beiden Polen gleichmäßig angezogen, folgt den Gesetzen der Schwere und bleibt vertikal. Sobald aber das Blättchen die geringste Menge von Elektricität enthält, wird es von dem einen der Pole abgestoßen, von dem andern angezogen und es nähert sich dem Pole, welcher mit einer der seinigen entgegengesetzten Elektricität geladen ist.


Fig. 181.

Dieses Instrument ist sehr empfindlich. Man macht ihm selbst den Vorwurf zu großer Empfindlichkeit, was zu Irrungen Anlaß geben könnte. Diese Empfindlichkeit ist so groß, daß bei trocknem Wetter ein mit Tuch geriebener Glasstab auf das Goldblättchen in einer Entfernung von mehr als drei Metern einwirkt.

Ein anderer Apparat, in welchem die trockne Säule zur Hervorbringung einer Bewegung benutzt wird, ist Fig. 180 abgebildet. Dieser Apparat besteht aus einer horizontalen sehr leichten Nadel aus Gummilack, die sich vermittelst eines Zapfens um ihre Axe drehen kann, an einem jeden ihrer Enden ein Scheibchen aus Goldblech trägt und sich zwischen den Polen der trocknen Säule befindet. Anfangs findet an einem jeden Pole der Säule eine Anziehung für das zunächst liegende Ende der Nadel statt. Die Nadel setzt sich in Bewegung und die an ihr befindlichen Goldblättchen kommen mit den Polen der Säule in Berührung, werden daselbst mit der nämlichen Elektricität geladen und sodann abgestoßen. Bald darauf werden sie durch die mit entgegengesetzter Elektricität geladenen Pole angezogen, es findet ein neuer Contact statt und die Bewegung wird durch den combinirten Einfluß der Anziehung von dem einen Pole und der Abstoßung von dem andern Pole eine unaufhörliche.

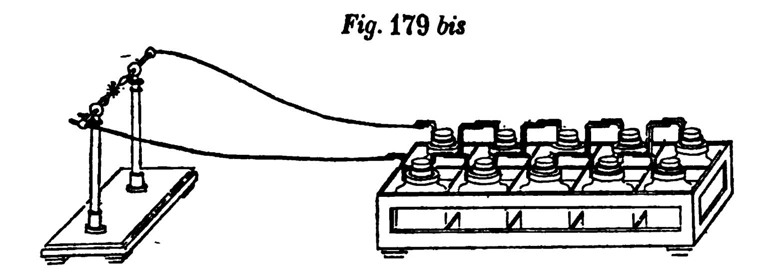
Fig. 180.


Zuweilen kommt es vor, daß die Nadel still steht, wenn die umgebende Luft sehr feucht ist. Es rührt dies daher, daß die Säule

sich zum Theil in die Luft entladet und die übrigbleibende Elektricität nicht kräftig genug ist, um den Widerstand, der sich der Bewegung der Nadel entgegensetzt, zu überwinden. Sobald die Luft trocken wird, beginnt die Bewegung der Nadel von Neuem.

335. Thermische und optische Wirkungen des galvanischen Stromes. In dem Augenblicke, in welchem man die Pole einer galvanischen Batterie mit einander leitend verbindet, entsteht ein glänzender Funke. Metalldrähte erhitzen sich dabei, wenn sie dünn genug sind, bis zum lebhaften Weißglühen; Platindrähte gerathen in ein heftiges Weißglühen und schmelzen endlich ab; Eisen- und Stahldrähte verbrennen unter heftigem Funkensprühen zu Oxyd. Im höchsten Grade intensiv ist die Licht- und Wärmeentwickelung, wenn man an die beiden Enden des Drahtes, welche mit den Polen in Verbindung stehen, Kohlenspitzen befestigt und dieselben nachher bis zur Berührung nähert (Fig. 179 bis). Es entsteht an der

Fig. 179 *bis*



Berührungsstelle ein reines blendendes Licht (das Kohlenlicht), das nur mit dem Sonnenlicht verglichen werden kann.

In der neuern Zeit ist die durch den galvanischen Strom erzeugte Hitze von dem französischen Physiker Desprez benutzt worden, um Substanzen, die bis jetzt noch nicht geschmolzen worden waren, wie Kohle, nicht nur zu schmelzen, sondern auch zu verflüchtigen.

336. Physiologische Wirkungen des galvanischen Stromes. Wenn man die beiden Leitdrähte, welche von den Polen einer galvanischen Säule ausgehen, mit den feuchten Händen anfaßt, so empfindet man einen Schlag, welcher weniger heftig und weniger intensiv als der Schlag einer Leydner Flasche ist; die Aufeinanderfolge der Schläge ertheilt aber der physiologischen Wirkung des galvanischen Stromes einen eigenthümlichen Charakter.

Wenn man den Draht, welcher mit dem Zinkpol in Verbindung steht, unter die Zunge und den andern vom Kupferpole ausgehenden Draht über die Zunge bringt, so bemerkt man einen entschieden sauern Geschmack. Verwechselt man die Drähte, so wird der Geschmack alkalisch.

Bringt man dabei ein Ende der Drähte an die Stirne, die Nase oder eine andere Stelle des Gesichtes, so bemerkt man in dem Augenblicke, in welchem man mit der Hand den anderen Draht erfaßt, bei geschlossenen Augen einen blitzähnlichen Lichtschein.

337. Chemische Wirkung des galvanischen Stromes. Zu den merkwürdigsten Eigenschaften des elektrischen Stromes gehört jedenfalls die, gewisse zusammengesetzte Körper in ihre Bestandtheile zu zerlegen. Diese Zersetzung wird nach der jetzt gebräuchlichen Terminologie Elektrolyse genannt.

Wenn man die beiden Poldrähte einer galvanischen Säule in ein Gefäß mit Wasser führt, so entwickeln sich an den beiden Polen der Drähte Gase, die, wenn sie in dem Apparate B (Fig. 176) in den beiden oben verschlossenen Glasröhren a und b getrennt aufgefangen werden, ein verschiedenes Volumen zeigen. Der Wasserstoff geht an den negativen Pol, der Sauerstoff an den positiven Pol. Das Volumen des Wasserstoffs ist genau das Doppelte vom Volumen des Sauerstoffes.

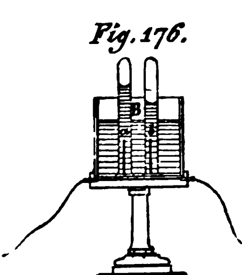


Fig. 176.

Eine Salzlösung wird ebenfalls durch die Säule zersetzt, die Base geht an den negativen Pol, die Säure an den positiven. Deshalb nennt man die Basen elektropositive, die Säuren elektronegative Körper.

Die Spaltung der constituirenden Bestandtheile des Salzes läßt sich augenscheinlich machen, wenn man ein Alkalisalz, z. B. schwefelsaures Natron anwendet. Die Lösung wird in eine Uförmig gebogene Röhre gebracht und vermittelst eines Tropfen Veilchensyrup blau gefärbt. Taucht man nun in den einen Schenkel der Röhre den einen, in den andern Schenkel den andern Poldraht, so wird die Flüssigkeit in dem Schenkel, in welchem sich die Säure ausscheidet, roth, die Flüssigkeit in dem andern Schenkel, die das Natron enthält, grün gefärbt erscheinen.

Wenn zwei Körper sich mit einander verbinden, so findet stets Zersetzung der neutralen Flüssigkeit statt, die positive Electricität geht zur Säure, die negative zur Base. Dieses Factum ist durch eine große Anzahl von Versuchen als festgestellt zu betrachten; es findet ferner in der Voltaischen Säule seine Bestätigung, die um so kräftiger, je stärker die chemische Action ist. Einige Physiker sind in Folge dessen veranlaßt worden, die von Volta beobachteten Berührungseffecte zu leugnen, und in der bei dessen Versuchen entwickelten Electricität nur das Resultat der chemischen Einwirkung des Sauerstoffs der atmosphärischen Luft und der Feuchtigkeit auf das Zink zu sehen.

Ohne uns bei der Prüfung dieser Frage aufzuhalten, nehmen wir an, daß bei der Voltaischen Säule die chemische Action die vorherrschende ist, und daß sie es fast allein ist, welche den Strom hervorruft und unterhält.

Die nach der elektrochemischen Theorie construirten Apparate, wie die oben beschriebenen Batterien haben auch durch die Energie ihrer Effecte den Vorzug vor der ursprünglichen Säule.

Es sei hier bemerkt, daß derjenige elektrische Strom, der die Elektrolyse von einem Aequivalent Wasser zu bewirken vermag, fähig ist, in einem jeden andern binär zusammengesetzten Körper, der von dem elektrischen Strome durchströmt wird, ebenfalls ein Aequivalent zu zersetzen. Faraday gründete darauf das unter dem Namen des Gesetzes der elektrolytischen Action bekannte Gesetz, nach welchem die durch den elektrischen Strom zerlegten Gewichtsmengen sich wie die chemischen Aequivalente verhalten.

338. Magnetische Wirkungen des elektrischen Stromes. Wenn man den Schließungsdraht einer Batterie in die Richtung einer in der Nähe befindlichen Magnetnadel bringt, so findet sogleich eine Ablenkung der Nadel statt. Die Art und die Größe der Ablenkung sind von der Richtung und der Intensität des elektrischen Stromes abhängig. Der Nordpol der Magnetnadel wird stets gegen die linke Hand einer menschlichen Figur abgelenkt, wenn man sich in den Draht so hineingelegt denkt, daß der Strom von den Füßen zum Kopfe geht, und daß das Gesicht der Magnetnadel zugekehrt ist.

Der Schließungsdraht einer Batterie ist auch im Stande, in Körpern, die magnetisch zu werden fähig sind, Magnetismus hervorzurufen. Weiches Eisen nimmt durch den elektrischen Strom

einen sehr bedeutenden Magnetismus an. Solche Magnete werden Elektromagnete, und weil sie nur so lange dauern, als der elektrische Strom wirkt, temporäre Magnete genannt.

Diese Eigenschaft des elektrischen Stromes, eine Magnetnadel abzulenken und weiches Eisen temporär magnetisch zu machen, findet in der elektrischen Telegraphie Anwendung.

339. Inducirende Wirkungen des elektrischen Stromes. Ein elektrischer Strom bringt unter gewissen Umständen in einem benachbarten Leiter einen andern elektrischen Strom hervor, welcher Nebenstrom, inducirter Strom oder secundärer Strom genannt wird. Man erkennt die Gegenwart dieses Stromes durch die Ablenkung, die eine Magnetnadel erleidet.

Vierundzwanzigstes Kapitel.

Von der Akustik.

340. Der Schall. Eine jede Bewegung eines Körpers kann unter Umständen Ursache der eigenthümlichen, durch das Gehörorgan vermittelten Empfindung werden, die man mit dem Namen Schall bezeichnet. Zur Entstehung des Schalles gehört ein bewegter oder schallender Körper, ein Medium, durch welches der Schall zum Gehörorgan fortgeleitet wird, und endlich ein normales Gehörorgan. Ein einfacher Impuls, der das Gehörorgan trifft, heißt ein einfacher Schall, der mit dem Namen Knall bezeichnet wird, wenn er stark ist. Wenn mehrere Impulse und dadurch erzeugte einfache Schalle in ungleichen Zeiten und in verschiedener Beschaffenheit auf einander folgen, so entstehen diejenigen Modificationen des Schalles, die wir Geräusch, Lärm, Brausen, Prasseln u. s. w. nennen. Stellt sich der Schall als etwas geregeltes dar, so daß er einen angenehmen Eindruck hervorruft, so heißt er Klang. Ist derselbe in allen seinen Theilen gleichartig, so daß er also nicht aus verschiedenen Klängen bestehend erscheint, so wird er Ton genannt. Die Lehre von den Tönen, der Erzeugung und der Gesetzmäßigkeit derselben bildet den wichtigsten Theil der Akustik.

Aus dem Vorstehenden folgt, daß der Ton das Resultat von Erschütterungen ist, welche durch ein elastisches Mittel in unser Gehörorgan gelangen. Damit aber in unserem Gehörorgan die Schallempfindung hervorgebracht werde, müssen gewisse Bedingungen erfüllt werden.

Wenn man ein an einer Schnur befestigtes Lineal schnell dreht, so hört man in gewissen Fällen ein Brausen, in andern Fällen ist kein Ton wahrzunehmen. Man hat nun gefunden, daß nur dann ein Ton hervorgebracht wird, wenn sich das Lineal um seine Axe dreht; findet diese Drehung nicht statt, so erzeugt die Kreisbewegung kaum ein Pfeifen. Die rotatorische Schwingung ist also hier die Ursache des Tones.

341. Schwingungen. Die Bewegung, welche den Schall erzeugt, ist eine Vibrationsbewegung; die meisten tönenden Körper machen Oscillationen, so lange sie tönen.

Man unterscheidet Längeschwingungen und transversale Schwingungen.

Wenn man einen an dem einen Ende befestigten Metallstab transversal aus der Gleichgewichtslage entfernt, so kehrt er nach einer Reihe transversaler isochronischer Schwingungeu in die Gleichgewichtslage zurück.

Ein der Länge nach geriebener Stab wird in Längeschwingungen versetzt.

342. Fortpflanzung der Schwingungen. Die Uebertragung der Vibrationen läßt sich mit Hülfe eines von Savart construirten Apparates nachweisen.

Dieser Apparat besteht aus einem Holzbrettchen (Fig. 183), das auf der einen Seite in einem Holzstocke A befestigt ist; an dem andern Ende ist eine Saite angebracht, die vermittelst eines Steges

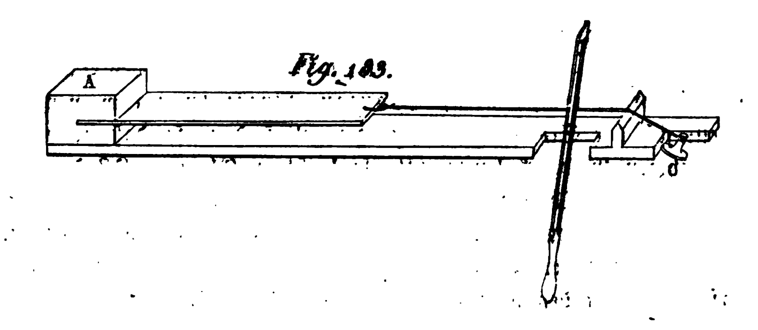


Fig. 183.

gespannt wird. Wenn man Sand auf das Brettchen streut, so bemerkt man, daß derselbe beim Erschüttern der Saite seinen Platz verändert. Streicht man mit einem Bogen nach verschiedenen Richtungen, so ist die Bewegung der Sandkörner stets der Bewegung des Bogens parallel.

Ein in dem Mittelpunkt einer Holz- oder Metallscheibe befestigter Holzstab geräth in transversale Schwingungen, wenn man ihn der Länge nach reibt. Die Art der Schwingung läßt sich durch auf die Scheibe gestreuten Sand nachweisen. Die Sandkörnchen hüpfen perpendiculär von der Oberfläche.

Die Uebertragung der Vibrationen erklärt die Verstärkung des Tons, der durch eine Violinensaite hervorgebracht wird, durch den mit Luft angefüllten dünnwandigen Kasten, auf welchem die Saite gespannt ist.

Eine stark angeschlagene Stimmgabel giebt, wenn sie frei in der Hand gehalten wird, keinen Ton; letzterer ist aber sogleich wahrzunehmen, sobald man die Stimmgabel auf einen Resonanzboden setzt.

343. Vibrationen von Flüssigkeiten. Die Verstärkung des Tones kann man benutzen, um die Fortpflanzung der vibratorischen Bewegung nachzuweisen.

Um zu beweisen, daß die Flüssigkeiten ebenso wie die festen Körper in Schwingungen gerathen, bringe man auf einen Resonanzboden ein mit Flüssigkeit angefülltes Glas; sobald man der Oberfläche der Flüssigkeit eine angeschlagene Stimmgabel nähert, bemerkt man, daß der Ton sich verstärkt. Die Verstärkung ist fast ebenso groß, als wenn man die Basis der Stimmgabel unmittelbar auf den Resonanzboden selbst gebracht hätte.

Dieser Versuch gelingt mit allen Flüssigkeiten gleich gut.

344. Vibrationen der Luft. Die Luft pflanzt ebenso die Vibrationen tönender Körper fort.

Ein gespanntes Membran beginnt zu vibriren, wenn man in einiger Entfernung von demselben eine Glocke oder einen andern tönenden Körper anschlägt. Auf das Membran gestreuter Sand zeigt diese Bewegungen an.

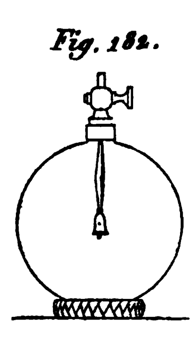
Zwei einander ähnlich auf Resonanzböden befindliche Stimmgabeln, die in der Luft mehrere Meter von einander entfernt sind, vibriren gemeinschaftlich, sobald die eine Stimmgabel angeschlagen wird.

345. Das Gehörorgan. Obgleich der Schall den Gehörsnerven durch die festen Theile des Kopfes zugeführt werden kann,

so geschieht doch unter den gewöhnlichen Umständen die Mittheilung hauptsächlich durch die Luft. Die in der Atmosphäre erzeugte Erschütterung wird durch die Luft in den Gehörgang des Ohres geleitet, dessen Ende durch das Trommelfell oder Paukenfell verschlossen ist. Dieses Membran ist besonders geeignet, die Schwingungen der Luft auf flüssige und feste Körper überzutragen. Hinter dem Trommelfell ist die Trommelhöhle, in welcher sich die Gehörknöchelchen, der Hammer, der Ambos, der Steigbügel und das runde Knöchelchen des Sylvius befinden. Alle diese Knöchelchen bilden gemeinschaftlich ein Hebelsystem und dienen zur Spannung und Erschlaffung des Trommelfelles sowie zur Fortleitung des Schalles. Von der Trommelhöhle geht der Schall durch eine wässrige Flüssigkeit, das Labyrinthwasser, auf die Gehörnerven über.

346. Vibrationen im leeren Raume. Zwischen dem tönenden Körper und dem Gehörorgan muß ein ununterbrochenes elastisches Medium vorhanden sein, wenn man anders den Ton hören soll.

Fig. 182.



Um dies zu beweisen, hängt man in einem Ballon eine kleine Schelle auf (Fig. 182). Nachdem der Ballon luftleer gemacht worden ist, hört man die Schelle nicht mehr; sobald man aber etwas Luft in den Ballon treten läßt, wird der Ton wieder hörbar.

347. Geschwindigkeit des Schalles. Die Geschwindigkeit, mit welcher die Schwingung in einem elastischen Mittel fortgepflanzt wird, nennt man die Geschwindigkeit der Fortpflanzung des Schalles. Diese Geschwindigkeit läßt sich berechnen.

Newton gab zuerst die Formel für die Geschwindigkeit in Gasen; er ließ sie nur von der Dichte und der Spannkraft des Gases abhängig sein. Diese Formel stimmte aber keineswegs mit den beobachteten Resultaten überein. Laplace veränderte diese Formel, indem er bei seiner Berechnung gewisse Umstände berücksichtigte, die von Newton vernachlässigt worden waren. Die Formel von Laplace stimmt ziemlich genau mit der Erfahrung überein. Sie ist:

$$a = \sqrt{g H \frac{\Delta C}{\delta C'}}.$$

g ist die Acceleration im freien Falle, Δ die Dichte des Quecksilbers bei 0°, δ die gegenwärtige Dichte des Gases, H die reducirte Länge der Quecksilbersäule, welche dem gegenwärtigen Drucke des Gases das Gleichgewicht hält, $\frac{C}{C'}$ das Verhältniß der specifischen Wärme des Gases bei constantem Drucke zu der specifischen Wärme desselben bei constantem Volumen Dieses Verhältniß ist für die Luft = 1,42.

In trockner Luft

$$\delta = 0{,}0013 \frac{H}{760} \cdot \frac{1}{1+\alpha t}.$$

In feuchter Luft

$$\delta = 0{,}0013 \frac{H - 0{,}378\, f}{760} \cdot \frac{1}{1+\alpha t}.$$

348. Geschwindigkeit des Schalles in der Luft. Die vorstehende Formel ist im Jahre 1823 durch eine Commission des Bureau des longitudes geprüft worden. Die Beobachter befanden sich zwischen Villejuif und Montlhéry, an den Endpunkten eines Zwischenraums, der durch astronomische und geodätische Mittel auf das Genaueste ausgemessen worden war. Zur Ermittelung der Geschwindigkeit des Schalles bestimmte man die Zeit, welche der Donner einer Kanone brauchte, um den Raum von einer Station zur andern zu durchlaufen. Diese Zeit wurde vermittelst eines Chronometers, der noch Fünfzigstel einer Secunde anzeigte, ermittelt. Die Zeit, welche zwischen dem Abfeuern der Kanone und dem Wahrnehmen des Schalles verlief, gab in Sekunden und Bruchtheil-Sekunden die Zeit an, welche der Schall brauchte, um den Weg von der einen Station zur andern zurückzulegen.

Die Kanonendonner wiederholten sich alle fünf Minuten, damit der Einfluß des Windes eliminirt wurde.

Alle diese Versuche wurden bei Nacht angestellt, damit das Geräusch des Tages und die ungleichförmige Erwärmung der Luft auf das Resultat keinen Einfluß ausüben konnten.

Die aus diesen Versuchen gefolgerte mittlere Geschwindigkeit des Schalles beträgt 337,2 Meter bei einer Temperatur von 10°. Die Geschwindigkeit des Schalles bei der Temperatur t berechnet sich nach der folgenden Formel:

$$a = 327{,}2 \text{ Meter.} \frac{\sqrt{1+\alpha t}}{\sqrt{1+10\alpha}};$$

$a = 0{,}00366$ ist der Ausdehnungscoefficient der Luft.

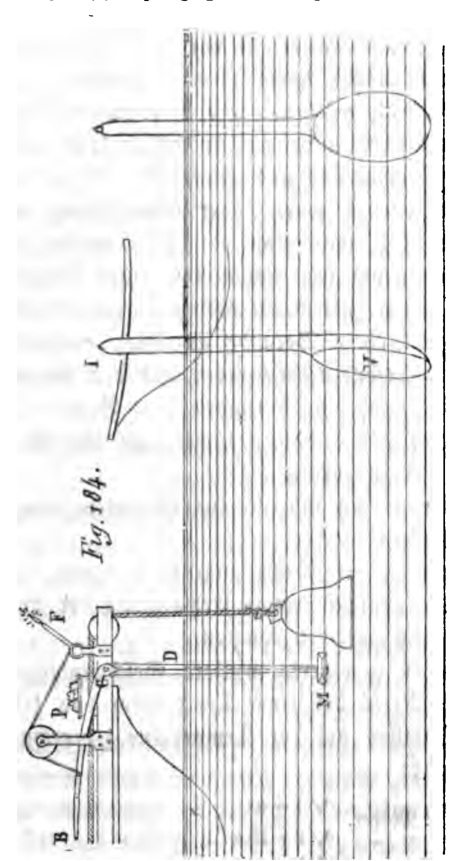
Die Geschwindigkeit des Schalles scheint von der Art der Erregung unabhängig zu sein.

Sie ist ferner die nämliche für Töne von verschiedener Höhe. Wenn an dem einen Ende einer langen Gassäule eine Arie gespielt wird, so vernimmt das am andern Ende befindliche Ohr keine Veränderung des musikalischen Charakters. Daraus geht hervor, daß die Töne, welche in das Ohr gelangen, in der Ordnung auf einander folgen, in welcher sie erzeugt worden sind, daß sie sich folglich mit gleicher Schnelle fortbewegen. Biot bediente sich zu seinen Versuchen einer mehr als ein Kilometer langen Wasserleitungsröhre.

Nach Dulong ist die Geschwindigkeit des Schalles in Gasen, die Fortpflanzungsgeschwindigkeit in der Luft als Einheit genommen:

die der

Kohlensäure	0,786
Stickstoffgases	0,787
ölbildenden Gases	0,943
Sauerstoffgases	0,952
Kohlenoxydgases	1,013
Wasserstoffgases	3,812



349. Geschwindigkeit des Schalles im Wasser. Die directe Bestimmung der Geschwindigkeit des Schalles in Flüssigkeiten beruht auf denselben Principien. Sie ist von Colladon und Sturm in dem Wasser des Genfer Seees ausgeführt worden.

Der Ton wurde durch den Schlag eines Hammers gegen eine Glocke erzeugt, die im Wasser ungefähr ein Meter unter der Oberfläche desselben aufgehängt war (Fig. 184.) Der Hammer

M war mit einem Schenkel des Hebels BD verbunden. Der andere Schenkel stand mit einem Zünder F in Verbindung, welcher dadurch, daß er heruntergezogen wurde, ein Pulverhäufchen P entzündete. Die Entzündung des Schießpulvers und der Schlag des Hammers gegen die Glocke geschahen zu gleicher Zeit; das Licht diente dem Beobachter als Zeichen, daß die Zeit zu messen sei. Der Beobachter befand sich auf einem befestigten Boot in einer genau bestimmten Entfernung von dem Orte, wo die Erschütterung statt hatte, und war mit einer unten sich erweiternden Röhre ZV versehen, um den im Wasser erregten Schall außerhalb desselben wahrnehmen zu können. Die Röhre war an den unten sich erweiternden Ende mit einer elastischen Scheibe von Blech verschlossen, übrigens mit Luft angefüllt. Die Schwingungen des Wassers theilten sich sodann durch die elastische Scheibe der Luft in der Röhre, und durch diese dem an ihr oberes Ende gehaltenen Ohre mit. — Diese Versuche gaben für die Geschwindigkeit des Schalles im Wasser im Mittel 1435 Meter bei 8° Temperatur. Die Entfernung beider Stationen von einander betrug 13487 Meter.

350. Geschwindigkeit des Schalles in festen Körpern. In festen Körpern ist die Geschwindigkeit der Fortpflanzung des Schalles größer noch als die in Flüssigkeiten. Biot zog aus Versuchen, die mit einem System von gußeisernen Röhren, das 951,25 Meter lang war, den Schluß, daß die Fortpflanzung des Schalles in Gußeisen ungefähr 10,5 Mal schneller als in der Luft geschieht.

Neuerdings mit Telegraphendrähten angestellte Versuche von Wertheim und Breguet gaben für die Geschwindigkeit des Schalles in Eisen im Mittel 3485 Meter in der Sekunde.

351. Fortpflanzung des Schalles. Schwingungsgesetze eines Stabes. Die Fortpflanzung des Schalles in einem elastischen Mittel ist nichts Anderes als die allmähliche Uebertragung der Veränderungen, welche in dem tönenden Körper in den benachbarten Schichten des Ortes der Erschütterung stattgefunden haben. Um die Art und Weise dieser Uebertragung zu verstehen, beginnen wir mit dem Studium der Wellenbewegung.

Wählen wir als Beispiel die Bewegung eines elastischen Stabes (Fig. 185), welcher in der Vertikale AB seine Ruhelage hat; entfernen wir denselben aus der Gleichgewichtslage und bringen ihn in die Lage A'B', so wird der Stab, wenn man ihn sich selbst überläßt, diese gezwungene Lage verlassen, nach der Vertikalen mit

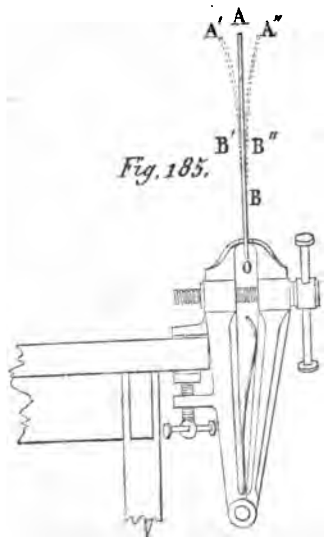


Fig. 185.

zunehmender Geschwindigkeit zurückkehren, in Folge der erlangten Geschwindigkeit über dieselbe hinausgehen, an Geschwindigkeit abnehmen, welche endlich in A″ B″ gleich Null wird. A″B″ ist in Bezug auf A′B′ symmetrisch zu AB. Durch die Federkraft geht der Stab zurück und macht auf diese Weise eine Anzahl isochronischer Oscillationen, bis endlich wie bei dem Pendel und aus demselben Grunde die Oscillationen schwächer werden und endlich aufhören.

Analytisch läßt sich die Geschwindigkeit eines Punktes des Stabes in jedem Augenblicke durch die Formel

$$V = A \sin \pi \frac{t}{T}$$

ausdrücken; π ist das Verhältniß der Peripherie zum Durchmesser, A eine Constante, T die Dauer einer einfachen Oscillation, t die vom Beginne der Oscillationen verstrichne Zeit.

Diese Formel erinnert an die verschiedenen Umstände der Bewegung eines Stabes, der parallel mit sich selbst schwingt. Die Geschwindigkeit ist allmählich zunehmend von $t = 0$ bis $t = \frac{1}{2}T$; in diesem Augenblick hat sie ihr Maximum erreicht; sie nimmt sodann ab und nimmt in umgekehrter Ordnung wieder die nämlichen Werthe an und verschwindet bei $t = T$. Von $t = T$ bis zu $t = 2T$ nimmt sie gleiche Werthe, deren Zeichen den ersteren entgegengesetzt sind, und geht durch die nämlichen Punkte; bei $t = 2T$ hat die Geschwindigkeit aufgehört und der Stab ist in seine ursprüngliche Lage zurückgekehrt. Von hier aus nimmt der Stab periodisch die nämlichen Lagen und dieselben Geschwindigkeiten an.

Die Bewegung des Stabes ist ununterbrochen; zur Erleichterung der Erklärung nehmen wir aber an, daß sie unterbrochen sei, und daß der Stab auf einmal aus einer Lage in die nächste übergehe. Wenn der Stab die Lage A′B′ verläßt, so sind diese Sprünge sehr klein und wachsen bis zur Gleichgewichtslage des Stabes; sodann nehmen sie ab und erhalten für die symmetri-

schen Lagen die nämlichen Werthe; sie sind außerdem durch gleiche Zeiten von einander getrennt.

352. Gradlinige Fortpflanzung der Wellen. Nehmen wir an, daß diese Vibrationen am Ende einer aus Luftmolekülen gebildeten Linie; oder am Ende eines Luftcylinders von sehr gleichem Durchschnitte und unendlicher Länge, den wir uns in der Luft isolirt vorstellen, vorsichgehen, daß ferner dieser Cylinder durch zu seiner Länge perpendiculäre gleich weit von einander entfernte Ebenen in sehr dünne Schichten getheilt sei, so werden durch die Vibrationen folgende Veränderungen darin hervorgebracht.

Die erste Schicht der Säule empfängt den ersten Stoß des Stabes, der seine äußerste Lage A'B' verläßt und wird dadurch rasch verdichtet; vermöge der Federkraft wirkt diese Schicht auf die nächste und comprimirt dieselbe, während sie selbst in ihren früheren Zustand zurückkehrt. Die zweite Schicht wirkt auf die nämliche Weise durch die durch die Compression in ihr erzeugte Spannung auf die dritte ein, und kommt darauf wieder in Ruhe.

Die durch die erste Ortsveränderung des Stabes hervorgebrachte Condensation pflanzt sich so von Schicht zu Schicht mit einer Geschwindigkeit fort, welche der des Schalles in dem Mittel gleich ist. Diese letztere Geschwindigkeit ist bezüglich der absoluten Geschwindigkeit des tönenden Körpers sehr groß und man kann annehmen, daß jede Schicht des elastischen Mittels zur Ruhe gelangt, nachdem sie ihre Bewegung auf die nächste Schicht übertragen hat.

Die zweite Ortsveränderung wirkt wie die erste, erzeugt aber eine etwas größere Verdichtung, die sich mit der nämlichen Geschwindigkeit als die erste fortpflanzt. Dasselbe findet bei den Condensationen statt, welche die darauf folgenden Stöße des Stabes in der ersten Luftschicht hervorrufen; sie entstehen nach einander und pflanzen sich fort.

Diese Condensationen nehmen bis zu dem Augenblicke zu, in welchem der Stab die Vertikale erreicht hat; sodann nehmen sie ab und nehmen in umgekehrter Reihenfolge dieselben Werthe wieder an.

Wenn der Stab seine erste Schwingung beendigt hat, so erreicht die erste Condensation eine Luftschicht, welche in der Entfernung aT (a ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles) vom Ursprung der Erschütterung befindlich ist. Die nachfolgenden Condensationen sind gleichmäßig in der Länge in der Ordnung vertheilt, in welcher sie entstanden sind.

Condensirte oder verdichtete Welle. Die Gesammtheit dieser beweglichen Condensationen bildet die condensirte oder verdichtete Welle. Die Länge λ derselben hängt von der Geschwindigkeit des Schalles in dem Mittel und von der Anzahl der Vibrationen des Stabes in der Einheit der Zeit ab. Bezeichnet man diese Anzahl mit N und setzt man $T = \frac{1}{N}$, so kann man schreiben:

$$\lambda = \frac{a}{N}.$$

Die aufeinander folgenden Condensationen, aus denen die Welle besteht, haben sämmtlich gleiche Geschwindigkeit; die Gesammtheit derselben pflanzt sich demnach mit einer allen gemeinsamen Geschwindigkeit fort. Man kann sagen, daß die Welle sich bewegt, und ihre Geschwindigkeit und ihre Lagen auf der Länge des Cylinders betrachten.

Verdünnte Welle. Wenn der Stab nach seiner ersten Schwingung sich nicht mehr bewegt, so würde er nur die eben beschriebene isolirte Welle erzeugen; da aber der Stab zu schwingen fortfährt und nach A'B' zurückkehrt, so erzeugt er in dem Mittel eine Reihe neuer Veränderungen. Nehmen wir nochmals an, daß der Stab seine Schwingungen rückwärts in Sprüngen vollbringe, welche der ersten gleich seien. Die erste Ortsveränderung dieser neuen Reihe erzeugt in der ersten Schicht eine Ausdehnung, die dann auf die nächste übergeht u. s. w. Dieselbe folgt unmittelbar auf die letzte Condensation und da sie die nämliche Geschwindigkeit hat, so pflanzt sie sich in dem Cylinder fort. Nach ihr kommt die zweite Ausdehnung, darauf die dritte u. s. f. Die Verrückungen des Stabes nehmen von A''B'' nach AB zu und von AB nach A'B' ab, und erzeugen zuerst zunehmende, sodann sich vermindernde Ausdehnungen. Wenn der Stab in A'B' in seine ursprüngliche Lage zurückgekehrt ist, so ist nach einer neuen Zeit T die Reihe der Ausdehnungen vollständig, und es bildet sich eine verdünnte Welle von der Länge aT, die sich unmittelbar an die verdichtete Welle anschließt. Beide Wellen haben dieselbe Geschwindigkeit und verändern den Ort in der nämlichen Zeit. Durch die Verbindung beider entsteht eine **Schallwelle** von der Länge 2λ.

Auf diese erste Welle folgt unmittelbar eine zweite, welche durch eine neue doppelte Vibration des Stabes erzeugt worden ist, auf die zweite die dritte u. s. w. Da diese Wellen alle dieselbe Ge-

schwindigkeit haben und hinter einander erzeugt werden, so pflanzen sie sich in einer Reihenfolge fort, ohne sich zu vermischen oder auf einander einzuwirken.

Befindet sich auf der Linie, die durch diese Wellen beschrieben wird, ein empfindliches Organ, so wird dasselbe afficirt, und die Dauer der periodischen Modificationen des Mittels, ihre Größe, das Gesetz, nach welchem sie sich entwickeln, sind Charaktere, durch welche man die Töne von einander unterscheiden und ihre verschiedenen Eigenschaften ermitteln kann.

353. Sphärische Wellen. Wenn man die Fortpflanzung des Schalles nicht in einer Richtung, sondern um den erschütterten Mittelpunkt herum in einem unbegrenzten elastischen Mittel betrachtet, so muß man den Luftschichten von demselben Durchschnitte und derselben Masse concentrische sphärische Schichten substituiren, deren Oberflächen und folglich auch deren Massen im directen Verhältniß der Quadrate ihrer Strahlen variiren.

Da die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles constant ist, so wird die Höhe durch die Entfernung nicht verändert, das Gesetz, nach welchem die Condensationen und Ausdehnungen auf einander folgen, nicht gestört und die Länge der Undulation in keiner Weise verändert; die auf einander folgenden Geschwindigkeiten der Luftschichten und die daraus entstehenden Condensationen nehmen aber proportional der Entfernung ab und der Ton verliert deshalb an Intensität.

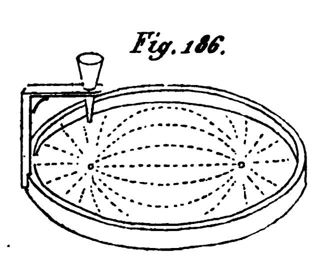
354. Reflexion der Wellen. Der Schall wird auf dieselbe Weise wie die Wärme und das Licht reflectirt. So lange das Schallmittel homogen ist, trägt jedes Theilchen durch seinen Stoß an das nächste seine Geschwindigkeit über und bleibt dann in Ruhe. Anders verhält es sich, wenn die Fortpflanzung der Erschütterung sich bis an die Grenzen zweier ungleichartiger Medien erstreckt. In diesem Falle spaltet sie sich in zwei Wellen, die eine wird in das erste Mittel zurückgeworfen, die andere geht durch das zweite hindurch.

Die Erfahrung hat bis jetzt nur sehr unvollständige Beweise für die Theorie geliefert. Nimmt man jedoch zwei polirte concave Hohlspiegel, die auf dieselbe Weise, wie Seite 123 bei der Reflexion der Wärme angegeben worden ist, einander gegenüber gestellt sind, und bringt in den Brennpunkt des einen eine Uhr, so wird

man dieselbe im Brennpunkte des andern Spiegels schlagen hören. Bringt man aber das Ohr an eine andere Stelle als in den Brennpunkt, so nimmt man das Schlagen der Uhr nicht mehr wahr.

Dieses Factum zeigt, daß für den Schall dieselben Reflexionsgesetze gelten, wie für die Wärme und das Licht. Mit dem Namen **Schallstrahl** bezeichnet man die Gerade, die von dem Erschütterungsmittelpunkte geführt wird und in welcher die Schallwelle sich fortpflanzt.

Reflexion der Wellen auf Quecksilber. Die Reflexion der Wellen läßt sich vermittelst Quecksilbers anschaulich machen. Man benutzt dazu ein flaches, elliptisches Gefäß (Fig. 186), dessen Boden mit Quecksilber bedeckt ist. Die Erschütterung wird in dem einen Brennpunkte der Ellipse durch einen Strahl Quecksilber hervorgebracht, der aus einem zu einer Spitze ausgezogenen Trichter herausläuft und vertical über dem Brennpunkte sich befindet. Die in diesem Punkte erregten Wellen pflanzen sich kreisförmig auf der Oberfläche der Flüssigkeit fort, treffen die Wand, werden daselbst reflectirt und bezeichnen bei ihrer Kreuzung deutlich den zweiten Brennpunkt der Ellipse.


Fig. 186.

Es unterliegt keinem Zweifel, daß eine ähnliche Concentration auch in der Luft stattfindet, sobald die Luftwellen eine Oberfläche von geeigneter Form finden.

355. Echo. Den geometrischen Bedingungen der Reflexion der Wellen nach einem gemeinschaftlichen Brennpunkte ist selten genügt; in vielen Fällen wird aber der Ton nach einigen Sekunden oder Bruchtheil-Sekunden von einem ähnlichen Tone gefolgt. Diese Erscheinung ist unter dem Namen Echo oder **Wiederhall** bekannt; sie ist von mehreren Umständen abhängig, die aber noch nicht gehörig festgestellt worden sind. Besonders das vielfache Echo läßt sich mit der vielfachen Reflexion vergleichen, welche ein Lichtstrahl bei zwei geneigten Spiegeln erleidet.

Die Reflexion der Schallwellen kann auch noch an der Trennungsfläche zweier Luftschichten ungleicher Dichte erfolgen.

Bei den Seite 281 über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des

Schalles in der Luft angeführten Versuchen waren die Kanonenschüsse, die man auf der einen Station wahrnahm, zuweilen von einem donnerähnlichen Rollen begleitet, welches 20—25″ anhielt; öfters hörte man auch deutliche, secundäre Schläge. Diese Phänomene fielen stets mit dem Erscheinen von Wolken am Himmel zusammen; bei vollkommen reinem Himmel war der Schuß stets nur einen Augenblick wahrzunehmen.

356. Totale Reflexion. Die Reflexion findet gleichfalls an der Oberfläche von Flüssigkeiten statt; die Reflexion kann selbst total werden, wenn die Welle im Innern der Flüssigkeit erzeugt worden ist.

Bei den Versuchen von Colladon und Sturm (Seite 282), wurde der durch das Anschlagen der Glocke unter dem Wasser hervorgebrachte Ton in der Luft sehr gut bis zu einer Entfernung von 200 Metern wahrgenommen; er verminderte sich aber schnell in dem Maße, als man sich entfernte. In der Entfernung von 400—500 Metern endlich wurde er selbst in der Nähe der Oberfläche des Wassers undeutlich und erst wahrzunehmen, sobald man das eine Ohr ins Wasser tauchte oder an das Ende eines akustischen Rohres brachte.

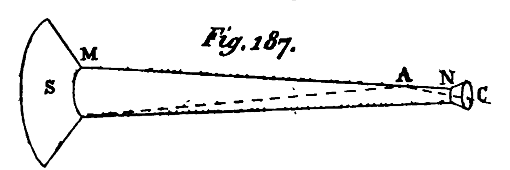
357. Interferenz der directen Welle und der reflectirten. Wenn eine Schallwelle eine zu ihrer Richtung perpendiculare Ebene trifft, so wird sie auf sich selbst zurückgeworfen und bewegt die Luftschichten, durch welche sie geht, auf dieselbe Weise, als wenn sie durch eine Erschütterung erzeugt worden wäre, welche der Erschütterung, durch welche sie in der That erzeugt worden ist, gleich aber entgegengesetzt ist, und deren Mittelpunkt symmetrisch zu dem ersten Erschütterungsmittelpunkte bezüglich der Reflexionsebene liegt.

Dieses Gesetz ist durch den Calcul gefunden worden. Ohne den Beweis für dasselbe anzugeben, führen wir die beiden folgenden Consequenzen an, die durch den Versuch nachgewiesen worden sind.

1. Wenn man eine Reihenfolge von Punkten betrachtet, die sich auf der Perpendicularen, die von dem Erschütterungspunkte zur Reflexionsebene gezogen ist, befinden, so sind in den Entfernungen $\lambda, 2\lambda \ldots n\lambda$ dieser Ebene die diesen Wellen entsprechenden Luftschichten während der Schwingung in Ruhe, da sie die Grenze zwischen den entgegengesetzt schwingenden Theilen ausmachen: man nennt diese Punkte Knoten oder Schwingungsknoten.

2. Die in den Entfernungen $\frac{1}{2}\lambda$, $\frac{2}{3}\lambda$, $\frac{5}{2}\lambda$ von der Reflexionsebene befindlichen Luftschichten sind dagegen durch gleiche Impulse und in derselben Richtung erregt worden, und haben die nämliche Geschwindigkeit.

358. Sprachrohr. Durch die Reflexion der reflectirten Schallwellen erklärt man sich die verstärkende Wirkung des Sprachrohres. Dieses Instrument besteht aus einem mehr oder minder langen conischen Rohre (Fig. 187), das mit einem Mundstück C am engen und einem trompetenartigen Fortsatz S am andern Ende versehen



ist. In dem Sprachrohre werden die von dem sprechenden Munde am engen Ende A ausgehenden Strahlen von den glatten Wänden z. B. auf der Linie MN bei A reflectirt, bis sie parallel austreten, so daß dann der Schall eben so wie in einer cylindrischen Röhre, unter Uebertragung der Bewegung von Schicht zu Schicht in gleichem Maße, zu beträchtlichen Entfernungen hin, fast ungeschwächt fortgepflanzt werden kann.

359. Eigenschaften des Tones. Man unterscheidet bei einem Tone den **Klang**, die **Intensität** und die **Höhe**.

Der **Klang** (nach Einigen Klangfarbe, nach Chladni timbre) ist eine Eigenschaft, die sich besser fühlen als beschreiben läßt. So groß und mannichfaltig die Verschiedenheiten des Klanges sind, und so empfänglich unser Gehör für dieselben ist, so gering ist doch unsere Kenntniß von der Natur dieser Verschiedenheiten. Man schreibt die Eigenschaft des Klanges demjenigen Gesetz zu, nach welchem die Geschwindigkeiten des tönenden Körpers auf einander folgen, die in der Luftsäule die Veränderungen hervorbringen.

Die **Intensität** des Tones ist von der Amplitude der Vibrationen des tönenden Körpers, so wie von der direct erschütterten Masse abhängig.

Der Ton einer Stimmgabel ist weit intensiver, wenn der Fuß des Instrumentes auf einen Tisch oder auf einen Resonanzboden gesetzt wird, als wenn die Stimmgabel isolirt vibrirt.

Ein in einem Ballon bewegtes Glöcklein bringt einen kaum

hörbaren Ton hervor, wenn die Luft im Ballon nur einige Centimeter Spannkraft hat; der Ton verstärkt sich in dem Maße, als die Dichte der Luft zunimmt.

In Wasserstoffgas hat der Ton keine größere Intensität, als in einer zu derselben Dichte verdünnten Luft.

Die Intensität des Tones varirt im umgekehrten Verhältnisse des Quadrates der Entfernung des Gehörorgans von dem Erschütterungsmittelpunkte. Es folgt dies aus dem Gesetz über die Fortpflanzung der Schallwellen in einem unbegrenzten elastischen Medium.

Die Höhe ist diejenige Eigenschaft des Tones, die am leichtesten bestimmt werden kann und am Besten bekannt ist. Es ist dies eine Folge der wunderbaren Eigenschaft des Ohres, die Töne in dieser Beziehung vergleichen zu können. Die Höhe des Tones ist von der Anzahl der Schwingungen des tönenden Körpers abhängig, was man vermittelst der Sirene nachweisen kann.

360. Die Sirene. Dieser sinnreiche von Cagniard de la Tour ausgesonnene Apparat hat folgende Einrichtung. M (Fig. 188) ist eine Messingbüchse und auf der untern Seite mit einer Oeffnung C versehen, in welche eine Röhre eingeschraubt ist, durch die der

Fig. 188.

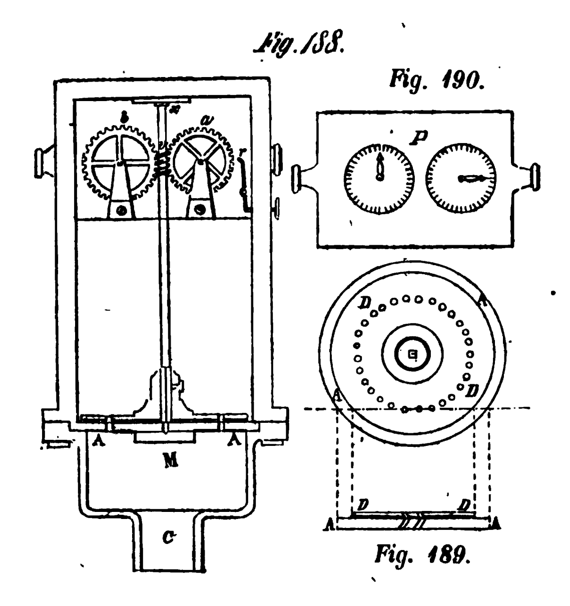


Fig. 190.

Fig. 189.

Wind aus einem Gebläse eintreten kann. In den oberen Deckel der Büchse M ist eine Reihe von Löchern gebohrt, die einen Kreis D bilden und gleich weit von einander abstehen (Fig. 189). D (Fig. 190) ist eine bewegliche Platte, deren untere Fläche genau auf die darunter befindliche Platte A paßt; diese bewegliche Platte dreht sich mit größerer oder geringerer Geschwindigkeit um die Axe O X und ist mit einer Reihe von Oeffnungen versehen, die den Oeffnungen der andern Platte A genau entsprechen, so daß alle Oeffnungen der Platte gleichzeitig geöffnet oder geschlossen sind, je nachdem bei der Umdrehung der Platte die Oeffnungen dieser oder die Zwischenräume auf die Oeffnungen des Deckels fallen. v ist eine Schraube ohne Ende am oberen Theile der Drehungsaxe O X, a ein Rad mit hundert Zähnen, das durch die Schraube ohne Ende in Bewegung gesetzt wird, b ein anderes Rad, welches bei jeder Umdrehung des Rades a nur um einen Zahn fortrückt. Die Axen dieser Räder tragen Nadeln, welche eingetheilte Zifferblätter durchlaufen (Fig. 190). Diese Nadeln und die Räder, welche sie in Bewegung setzen, bilden den Zähler der Sirene. Man kann den Zähler nach Willkühr in Bewegung setzen und anhalten. Zu diesem Zwecke braucht man nur den einen der beiden Knöpfe, die an der Seite des Zählers befindlich sind, in Bewegung zu setzen. Es ist noch zu erwähnen, daß die Oeffnungen der Scheibe gegen die Flächen geneigt sind, so daß die Geschwindigkeit des Windes, welcher durch die Windröhre in den Kasten getrieben wird, hinreicht, den Platten eine mehr oder weniger schnell drehende Bewegung mitzutheilen. Um nun das Spiel der Sirene als akustisches Instrument zu verstehen, nehmen wir an, daß sich in dem Deckel nur ein einziges Loch und in der Scheibe deren zehn finden. Dann wird während einer Umdrehung der Scheibe die Oeffnung des Deckels zehnmal geöffnet und zehnmal geschlossen sein, und mithin wird der Luftstrom, welcher durch die Windröhre eintritt, zehnmal stattfinden und zehnmal unterbrochen sein. Dies geschieht in 1, $\frac{1}{10}$ oder $\frac{1}{100}$ Sekunde, je nachdem die Scheibe 1, 10 oder 100 Umdrehungen in einer Sekunde macht, und da die Luft, welche lebhaft eingestoßen und plötzlich aufgehalten wird, bei jedem Wechsel eine Schwingung erzeugt, so folgt daraus, daß man bei jeder Umdrehung der Scheibe auf diese Weise 20 Schwingungen haben wird und folglich 20, 200, 2000 Schwingungen in der Sekunde. Auf diese Weise muß die Sirene Töne

geben, die gradweise steigen oder vielmehr in unmerklichen Nüancen vom tiefsten bis zum höchsten Tone sich erheben. Die Versuche bestätigen dies.

Bestimmung der Schwingungszahl. Die Anzahl der Schwingungen des erzeugten Schalles oder der in der Luft erregten Undulationen läßt sich leicht bestimmen, wenn man die Anzahl der Umdrehungen der Scheibe in der Sekunde kennt, denn bei dem jedesmaligen Zusammenfallen der Löcher der beweglichen Scheibe mit den Löchern der nicht beweglichen Scheibe entsteht eine doppelte Vibration oder eine vollständige Welle, und für jede Umdrehung finden so viel Coincidencen statt, als Löcher auf einer jeden der beiden Scheiben befindlich sind.

Die Totalzahl der doppelten Vibrationen ist dann gleich der Anzahl der Löcher auf der einen Scheibe, multiplicirt mit der Anzahl der Umdrehungen.

Will man nun mit Hülfe der Sirene die Schwingungszahl eines Tones bestimmen, so führe man durch die untere Röhre einen Luftstrom und regulire denselben so lange, bis der Ton der Sirene mit dem gegebenen im Einklange ist. So wie diese Uebereinstimmung eingetreten ist, muß man, während die Töne hervorgebracht werden, zugleich gegen den Knopf des Zählers drücken, damit das Rad eingreift, und gegen den Knopf eines guten Chronometers, um die Zeit zu messen. Sodann muß man, nachdem etwa zwei Minuten lang der Einklang aufmerksam gehört worden ist, gleichzeitig den Zähler und das Chronometer anhalten. Durch Ablesen des Chronometers bei Beginn und beim Beendigen der Operation erfährt man die Dauer des Versuches. Durch die Zeiger erfährt man die Anzahl der Umdrehungen der Platte.

N sei die Zahl, welche die Nadel des 100 Mal sich herumdrehenden Rades angiebt, n die Zahl, die durch die Nadel des anderen Pendels angegeben wird, p die Anzahl der Löcher der Scheibe, t die Dauer des Versuchs, so giebt $\frac{(N.100+n)p}{t}$ die Anzahl der Oscillationen, die in der Einheit der Zeit vor sich gegangen sind.

361. Monochord. Durch die Sirene ermittelt man die absolute Höhe eines Tones; die relative bestimmt man mit Hülfe des Monochordes. Dieses Instrument besteht, wie schon der Name sagt, in einer einzigen Saite, welche auf die gewöhnliche Weise am einen Ende an einem Stifte aufgehängt, am andern Ende mittelst

eines Wirbels gespannt wird, und über zwei Stege von gleicher Höhe läuft, welche die zum Schwingen bestimmte Länge abgrenzen. Um diese Länge abzuändern, wird ein dritter beweglicher Steg untergeschoben. Die Formel

$$N = \frac{1}{RL} \sqrt{\frac{Pg}{\pi \delta}},$$

welche die Anzahl der Schwingungen einer Saite angiebt, zeigt, daß diese Zahl umgekehrt proportional der Länge des vibrirenden Theiles ist.

L bedeutet die Länge, R den Radius und δ die Dichte der Saite, P das spannende Gewicht, g die Acceleration der Schwere, π das Verhältniß der Peripherie zum Durchmesser.

Druck von J. G. Wassermann in Leipzig.

